This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

Radium und Radioaktivität

LANE MEDICAL LIBRARY STANFORD STOR
B721 .S71 1906
Radium und Radioaktivitat.
24503283822

Von

Dr. med. Ernst Sommer
Spezialarzt für physikalische Therapie

Winterthur (Schweiz).

Mit einer Abbildung im Text.

1906.
Verlag der „Aerztlichen Rundschau"
(Otto Gmelin) München.

B721
S71
1906

LANE

MEDICAL LIBRARY

LEVI COOPER LANE FUND

Radium und Radioaktivität.

Von

Dr. med. Ernst Sommer,

Spezialarzt für physikalische Therapie, Winterthur (Schweiz).

Mit einer Abbildung im Text.

München 1906.
Verlag der Aerztlichen Rundschau (Otto Gmelin).

Alle Rechte, auch das der Uebersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

YALE LIBRARY

B 721
S 71
1906

Allgemeine Einleitung und geschichtliche Uebersicht. — Darstellung des Radiums und der radioaktiven Substanzen. — Radiumstrahlung, ihre Komplexität und deren einzelne Komponenten. — Nachweis der Strahlung. — Drei Hauptgruppen: α-, β- und γ-Strahlen und ihre Eigenschaften. — Charakterisierung der einzelnen Gruppen. — Weitere Eigenschaften der Radiumsalze und Effekte der Selbststrahlung: Atomgewicht; Spektrum; Fluoreszenz und Lichteffekte; Färbung einzelner Körper durch Radium; Thermoluminiszenz; Gasentwicklung; chemische und photographische Wirkungen; Wärmeentwicklung durch die und Wirkung der Temperatur auf die Strahlung; Ionisierung und Ozonisierung. — Induzierte Radioaktivität; Aktivierung und Entaktivierung. — Emanation, ihre Eigenschaften und ihr Vorkommen. — Helium. — Einwirkung der Radiumstrahlung auf Tiere und tierische Produkte; Mikroorganismen; Pflanzen; Organe und Gewebe des menschlichen Körpers. — Physiologische Wirkungen der Emanation. — Therapeutische Anwendung in der Medizin. — Wesen und Ursache der Radioaktivität. — Bemerkungen zur Lehre von der Konstitution der Materie. — Elektronentheorie. — Schluss.

C0516

Röntgens grossartige Entdeckung hatte ihren Siegeslauf durch die gebildete Welt angetreten. Die Erklärungen über die Genese des Phänomens der Röntgenstrahlen waren — und sind es auch heute noch — Gegenstand zahlreicher Hypothesen und Kontroversen. Man brachte ihre Entstehung in kausalen Zusammenhang mit der gleichzeitig entstehenden Fluoreszenz der Glaswand der leuchtenden Röntgenröhre und war geneigt, die Emission der X-Strahlen als eine, von deren Ursache jedoch unabhängige, notwendige Begleiterscheinung der Fluoreszenz zu betrachten. Viele Forscher untersuchten noch die fluoreszierenden und phosphoreszierenden Substanzen, ob sie, ähnlich den Röntgenstrahlen, die Eigenschaft besitzen möchten, die photographische Platte zu verändern. Phosphoreszierendes Zinksulfid vermochte diese »photographischen« Wirkungen sogar auf eine in lichtsicheres schwarzes Papier gewickelte Platte zu erzielen (Henri), ebenso auch belichtetes Kalziumsulfid (Niewenglowski). Kräftige Einwirkung zeigte auch die künstlich hergestellte hexagonale Blende, und zwar gleichfalls durch schwarzes Papier und dicken Karton hindurch (Troost). Es stellte sich jedoch bei diesen Beobachtungen eine chemische Ursache heraus; mit den Strahlungsphänomenen haben sie nichts zu tun.

Im Gegensatz dazu fand Becquerel (1896) bei den Salzen des Uran solche Effekte, deren Ursache tatsächlich Strahlungen sind; mit Urankaliumsulfat erhielt er besonders bemerkenswerte Resultate. Im Laufe der Zeit stellte es sich nun nach langem und mühsamem Experimentieren heraus, dass das beschriebene Phänomen mit der Fluoreszenz nichts zu tun hat: das Salz braucht, um die geschilderte Wirkung entfalten zu können, absolut nicht vorher belichtet zu werden. Uran und alle seine Verbindungen, ob fluoreszierend oder nicht, wirken in gleicher Weise und das metallische Uran am stärksten; ja, die Wirkung bleibt auch nach jahrelanger Aufbewahrung, selbst in Räumen, in die kein Licht eindringt! Becquerel kam nun auf Grund

---

[1]) Nach einem in der naturwissenschaftlichen Gesellschaft der Stadt Winterthur gehaltenen Vortrag.

seiner Versuche zu der Annahme, dass sowohl Uran selbst als auch seine Verbindungen befähigt seien, besondere Strahlen auszusenden, die Uranstrahlen. Als besondere spezifische Eigenschaften derselben nannte er ihre Wirkung auf die Emulsion der photographischen Platte, ihr Durchdringungsvermögen (Penetrationskraft), sogar durch dünne Metallschirme hindurch und die Fähigkeit, elektrisch geladene Körper zu entladen; sie sollen auch reflektiert, gebrochen und polarisiert werden können. Diese Versuche wurden von verschiedenen Seiten nachgeprüft und konnten Becquerel's Mitteilungen meistens bestätigen, gelegentlich auch noch erweitern. Bezüglich der Reflexion, Brechung und Polarisation der Uranstrahlen zeigte indessen zuerst Rutherford ihre diesbezügliche Identität mit den Röntgenstrahlen, deren Befund schliesslich auch Becquerel anerkannte, und auch die neuesten Untersuchungen haben als feststehende Tatsache ergeben, dass die Uranstrahlen keiner regulären Reflexion, Brechung oder Polarisation fähig sind. Wir können heute als erwiesen annehmen, dass die Uran- oder Becquerelstrahlen auf die gegen Lichteindringen geschützte photographische Platte einwirken (Schwärzung ihrer Emulsionsschicht), genügend dünne Schichten aller festen, flüssigen und gasförmigen Körper durchdringen und die durchstrahlten Gase zu Leitern der Elektrizität machen. Diese Strahlung ist selbstständig, konstant und dauernd und ihre Intensität nimmt auch nach jahrelangem Aufbewahren der Uranverbindungen im Dunkeln nicht ab: schon aus diesem Grunde kann es sich also nicht um eine mit der Lichtwirkung zusammenhängende Fluoreszenz handeln!

Mme Curie und unabhängig von ihr Schmidt veröffentlichen Untersuchungen, wonach sich Thorium und seine Verbindungen analog wie Uran verhalten. Uran, Thor und ihre Verbindungen sind also der Ausgangspunkt einer neuen Strahlenemission, welche ihrem ersten Entdecker zu Ehren Becquerel-(Uran-)Strahlen benannt werden; Mme Curie führte für alle Substanzen, die eine derartige Strahlung aussenden, die allgemein akzeptierte Bezeichnung radioaktiv ein.

Die Intensität der Strahlung kann gemessen werden; die von Mme Curie eingeführte diesbezügliche Methode beruht in ihrem Prinzip auf der Messung der Leitfähigkeit der Luft unter der Einwirkung radioaktiver Substanzen. Die Radioaktivität stellt sich nach diesen Untersuchungen als ein messbares Phänomen dar; sie variiert wenig mit der Temperatur und wird kaum von den Schwankungen der Zimmertemperatur beeinflusst; auch eine Belichtung der radioaktiven Stoffe ist ohne Einfluss. Die Leitfähigkeit,

die in Gasen durch Becquerel-Strahlen hervorgerufen wird, scheint denselben Gesetzen wie die Röntgenstrahlen unterworfen. Die von Mme Curie über die Absorption der Uran- und Thorstrahlen angestellten Untersuchungen ergaben für Thorstrahlen ein grösseres Durchdringungsvermögen und liessen die von Thoroxyd in dicker Schicht emittierten Strahlen durchdringender erscheinen als die von einer dünneren Schicht ausgesandten.

Aber der ganze Vorgang erschien noch ungleich viel komplizierter. Als Resultat verschiedener Versuche wurde die Annahme abgeleitet (Rutherford), Thor und seine Verbindungen senden nicht nur Becquerelstrahlen aus, sondern ausserdem noch eine, »aus ausserordentlich feinen Partikelchen bestehende Emanation, die eine Zeit lang nach ihrer Emission radioaktiv bleibt und von dem Luftstrom mit fortbewegt wird«.

Die Radioaktivität ist eine dem Atom selbst spezifisch anhaftende Eigenschaft. Deswegen ist es leicht verständlich, dass alle Verbindungen des Thorium und Uranium radioaktiv sein müssen: eben durch ihren Gehalt an diesem Uran oder Thor, an deren Atome, in welchen Verbindungen immer sie sich vorfinden, die Radioaktivität gebunden ist. Aus denselben Ueberlegungen kann auch der Schluss gefolgert werden, dass die reine Grundsubstanz stärker radioaktiv sein muss, als alle ihre Salze; die inaktive Beimengung in den verschiedenen Verbindungen ist lediglich als »toter Ballast« zu betrachten, der seinerseits ganz wohl einen Teil der Strahlung absorbieren kann! Ferner wurde konstatiert, dass weder Aenderungen des physikalischen Zustandes noch chemische Umwandlungen imstande sind, die Radioaktivität zu zerstören.

Nach den damaligen Feststellungen, zu Ende des vergangenen Jahrhunderts, schien die Radioaktivität bei den verschiedenen radioaktiven Mineralien von ihrem Gehalt an Uran resp. Thor abzuhängen. Und dieser Verbindungen gibt es recht zahlreiche, welche sich bei der Untersuchung als radioaktiv erweisen. Neben Uran und Thor selbst sind unter ihnen besonders zu nennen: das Uranpecherz (-Pechblende)[1]) ein uranoxydhaltiges Mineral aus verschiedenen Fundstellen (Johanngeorgenstadt, Joachimstal in Böhmen,

[1]) Geigel betont in seiner interessanten Abhandlung (Die neuen Strahlen in der Therapie) mit Recht die Unrichtigkeit der Bezeichnung Pechblende. »Uranpecherz ist wesentlich ein Uranat von Uranyl und Blei. Leider wird der alte Name »Pechblende« immer noch, auch in wissenschaftlichen Werken, gebraucht, obwohl das Mineral weder in chemischer noch in physikalischer Hinsicht eine »Blende«, d. h. ein Sulfid von nicht metallischem Habitus, licht gefärbt und pellucid ist.« Trotz der Richtigkeit dieser Bedenken hat sich aber der Name Pechblende doch eingebürgert.

Freiberg in Sachsen, Přibram, Cornwallis, Norwegen, neuerdings auch in Colorado und Kalifornien etc.); Bröggerit, Cleveit, Chalkolit (kristallisiertes Urankupferphosphat), Autunit (Urankalziumphosphat), Thorit, Orangit (Thoroxydhaltiges Mineral), Monazit, Xenotim, Aeschynit, Fergusonit, Samarskit, Niobit, Tantalit, Carnotit u. s. w. Alle diese Verbindungen verdanken ihre Radioaktivität der Beimengung von Uran oder Thor.

Aber bei den fortgesetzten Untersuchungen zeigte sich eine merkwürdige Ueberraschung. Es fand sich da eine Art der Pechblende (= Uranpecherz), d. i. uranoxydhaltiges Mineral, deren Radioaktivität viermal stärker war als diejenige der bis dahin als Einheit stipulierten Grundsubstanz, des metallischen Urans und auch Autunit (d. i. Urankalziumphosphat) ist ebenso stark radioaktiv wie metallisches Uran! Unsere früheren Ueberlegungen und Auseinandersetzungen gipfelten in dem Schluss, es könne kein Mineral stärkere Radioaktivität aufweisen als die reine Grundsubstanz Uran oder Thor, deren Atome als solche ja die Träger dieser Radioaktivität repräsentieren. Wiederum war es Mme Curie, die nach Absolvierung einer grösseren Zahl diesbezüglicher Versuche zu dem richtigen Schluss gelangte, dass speziell Pechblende, Chalkolit und Autunit ihre ungewöhnlich starke Radioaktivität der Beimengung einer besonders stark aktiven Substanz zu verdanken haben, einer Substanz, die gegenüber den bisher bekannten Stoffen prinzipielle Verschiedenheit aufweisen musste. In erster Linie wurde nun die Pechblende aus Joachimstal in Böhmen analysiert. Ihr wesentlichster Bestandteil ist Uranoxyd; ihre ungewöhnlich starke Radioaktivität konnte nicht mehr bloss auf den Gehalt an Uran zurückgeführt werden. Mme Curie-Sklodowska schloss daraus (1898) auf das Vorhandensein eines neuen Elementes, dem die Strahlungsfähigkeit in besonders hohem Grade eigen sei; sie nannte diesen neuen, vorerst noch hypothetischen Körper nach ihrem polnischen Vaterland Polonium. Es ist auch z. Z. noch nicht endgültig festgestellt, ob dieses Polonium, dessen Reindarstellung bis dato nicht gelungen ist, wirklich ein Element ist; seine elementare Natur wird stark bestritten (Giesel). Polonium ist eine dem Wismut verwandte Substanz.

Dagegen gelang es kurze Zeit später, in derselben Pechblende ein tatsächlich neues Element als solches nachzuweisen, das, spektroskopisch untersucht, (Demarçay) auch dadurch zweifellos als Element nachgewiesen wurde. Dieses von Mme Curie in Gemeinschaft mit Bémont entdeckte neue Element, Radium genannt, besitzt nun die

Fähigkeit, Becquerelstrahlen auszusenden, in höchstem Grad; es begleitet das aus der Pechblende extrahierte Baryum. Debierne entdeckte das Aktinium, das einen Begleiter der in der Pechblende enthaltenen Eisenverbindungen darstellt. Es scheint dem Thor verwandt. Deutsche Forscher entdeckten Ekalanthan und Radiotellur (Giesel und Marckwald). Aber von all' diesen radioaktiven Stoffen, Radium ausgenommen, steht es durchaus noch nicht fest, dass sie wirklich Elemente sind, sicher ist die elementare Natur bisher nur vom Radium nachgewiesen, wie denn dieses Radium bis jetzt auch der einzige radioaktive Stoff ist, welcher rein als solcher, und in Form eines reinen Salzes dargestellt werden konnte. Es existiert ferner eine radioaktive Substanz, welche in ihren chemischen Eigenschaften dem Blei verwandt ist: Radioblei (Giesel, Hofmann, Strauss).[1]) Alle diese neuen Stoffe werden aus der Pechblende hergestellt, die Ausbeute ist allerdings ausserordentlich gering: aus Tausenden von Kilogrammen der Ausgangssubstanz erhält man nur eine äusserst geringe Menge des Endproduktes, dessen Radioaktivität allerdings im Verhältnis zur ursprünglichen Substanz ausserordentlich gross ist. Die Pechblende (Uranpecherz) wird, wie bereits früher angeführt, an verschiedenen Orten gefunden und daselbst bergmännisch gegraben. Die radioaktiven Substanzen sind nur in ungeheuer kleinen Quantitäten auf der Erde verbreitet und wo sie sich relativ am reichhaltigsten vorfinden, wie eben beispielsweise in der Pechblende, so auch hier nur in äusserst geringen Spuren: können doch aus einer Tonne (= 1000 kg) des Ausgangsmaterials nur wenige Dezigramme des Endproduktes, reines Radiumbromid, gewonnen werden! Der Gewinnungsprozess des Radiums und der radioaktiven Stoffe aus der Pechblende ist ein ungemein schwieriger und ausserordentlich umständlich. Gleich an Ort und Stelle der Förderung wird in erster Linie das Uran ausgelaugt; die im Rest enthaltenen Rückstände, hauptsächlich aus Metallen bestehend, bergen stark radioaktive Substanzen und werden besonders behandelt, und zwar im Sinne einer Trennung und möglichsten Reinigung der die aktiven Substanzen enthaltenden Anteile.

Darstellung des Radiums und der radioaktiven Substanzen. Die einzelnen Prozesse im Gang der Radiumgewinnung sind nun (nach Dannes Abhandlung über das Radium) folgende. Zur Abscheidung des in der Pechblende enthaltenen Urans wird das möglichst zer-

[1]) Ein neues Präparat, Radiophor-Axmann, enthält Radiumbromid.

kleinerte Ausgangsprodukt, das Erz, mit Soda geröstet, zur Entfernung der löslichen Salze mit Wasser ausgelaugt und hernach mit verdünnter Schwefelsäure behandelt: die Lösung enthält das Uran. Der andere, unlösliche, Rückstand wurde früher als wertlos beseitigt; aber gerade in ihm sind die wertvollen, stark radioaktiven Substanzen enthalten, die selbst fünfmal stärkere Aktivität aufweisen als das metallische Uran. In dem genannten Rückstand finden sich besonders Blei- und Calciumsulfat, Aluminium, Eisenoxyd und Silicium; daneben sind noch, allerdings in meist nur geringer Menge, u. a. die seltenen Erden vertreten: Antimon, Arsenik, Baryum, Kobalt, Kupfer, Mangan, Nickel, Niobium, Thallium, Tantal, Vanadium, Wismut, Zink etc. In diesem komplizierten Gemenge findet sich nun, in geringsten Spuren, das Radium, und zwar in Form seines schwer löslichen Sulfates. Beim Behandeln dieses Gemisches mit konzentrierter Salzsäure wird das Aktinium und Polonium ausgeschieden, ersteres durch Schwefelwasserstoff ausgefällt, letzteres als Bestandteil der Hydrate, welche durch Ammoniak aus der von den Sulfaten getrennten und oxydierten Lösung niedergeschlagen werden. Der Rest wird gewässert und der Behandlung mit kochender, konzentrierter Sodalösung unterzogen, wieder gewaschen und nochmals mit reiner Salzsäure behandelt. Es werden nun die leichter löslichen Sulfate abgeschieden, Sulfate von radiumhaltigem Baryum, die nebenbei noch Kalk, Eisen und Blei enthalten und ausserdem noch geringe Spuren von Aktinium aufweisen. Eine Tonne (= 1000 kg) dieses Rückstandes liefert 10—20 kg Rohsulfate mit einer Radioaktivität, die bis sechzigmal grösser ist als diejenige des als Einheit der Radioaktivität angenommenen reinen metallischen Urans. Radium findet sich also hauptsächlich als schwerlösliches Sulfat. Die Sulfate werden nunmehr gereinigt durch Behandlung mit Natriumkarbonat; die dadurch gewonnenen Karbonate werden alsdann in Chloride umgewandelt. Durch Schwefelwasserstoff wird ein aktive Sulfite enthaltender Niederschlag erzeugt, dem auch noch etwas Polonium beigemischt ist. Darauf Filtration, Oxydation mit Kaliumchlorat und Niederschlag mittelst Ammoniak. Die erhaltenen Oxyde und Hydrate sind das Aktive, enthalten aber noch Spuren von Aktinium. Aus der Lösung werden mittelst Soda die Karbonate gefällt, gewaschen und in Chloride übergeführt, die Chloride zur Trockene eingedampft und mit reiner Salzsäure ausgewaschen. Das Chlorkalzium löst sich, das radiumhaltige Chlorbaryum bleibt ungelöst. Weiterbehandlung mit Wasser und Natriumkarbonat, Umwandlung in Bromide durch Behandlung mit Bromwasserstoff. Eine Tonne des Ausgangsmaterials liefert

8—10 kg radiumhaltiges Baryumchlorid von der Aktivität 60. Es erfolgt nun die Fraktionierung der radiumhaltigen Baryumsalze, durch welche Massnahme stärker radiumhaltige Baryumchloride gewonnen werden sollen. Das Bromidgemisch wird einer Reihe von Kristallisationen, erst in reinem Bromwasserstoff, sodann in Bromwasserstoffwasser, unterzogen. Radiumbromid ist weniger leichtlöslich als Baryumbromid und diese Eigenschaft wird für das weitere Procedere benützt. So gewinnt man dann endlich, als Schlussprodukt einer ungemein schwierigen chemischen Arbeit eine Anzahl von Radiumsalzen, das Chlorid, Bromid und Nitrat des Radiums. Radium selbst, als reines Metall abzuscheiden, ist erst vor ganz kurzer Zeit gelungen. Da die Menge der hergestellten hochwertigen aktiven Salze zurzeit noch ausserordentlich gering ist, konnten die chemischen und physikalischen Eigenschaften derselben noch nicht in wünschenswerter Weise genügend geprüft werden. Das Radiumchlorid oder -bromid, als reiner chemischer Körper, hat die Aktivität von 1,000 000 in bezug auf metallisches Uran als Einheit! Der Preis für dasselbe ist dementsprechend ein ausserordentlich hoher; das reine Radiumbromid erzielt zurzeit einen Preis von 4—500 Franken per Milligramm und es sollen, Zeitungsnachrichten zufolge, auf der ganzen Welt nicht mehr als einige Gramm vorhanden sein!

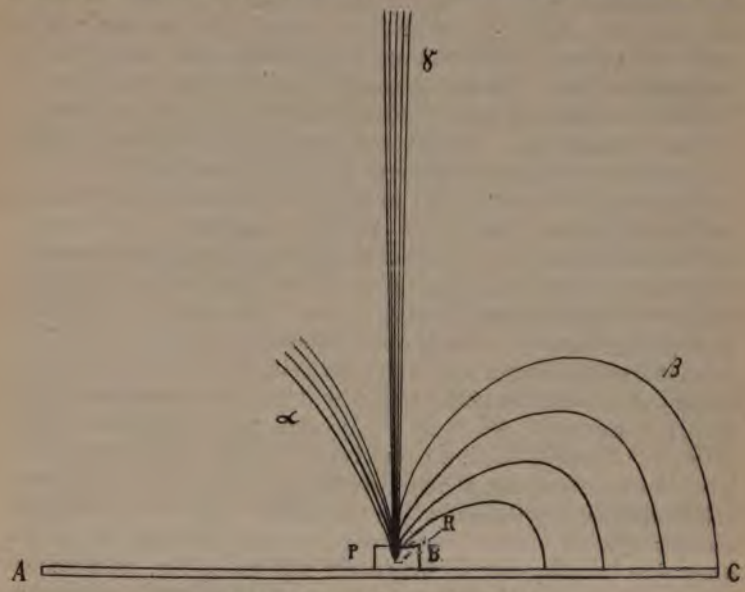
Die Komplexität der Becquerelstrahlung und ihre einzelnen Komponenten. Die radioaktiven Substanzen stellen eine ununterbrochene und spontane Quelle einer ausserordentlich komplizierten Strahlung dar. Die verschiedenartigen, gleichzeitig miteinander emittierten Strahlen, die eine grosse Zahl von Eigenschaften mit den allgemein bekannten Kathoden- und auch mit den Röntgenstrahlen gemeinsam aufweisen, ist komplexer, durchaus nicht homogener Natur. Die Strahlen einer und derselben Gruppe können in weiten Grenzen variieren und jede derselben weist ihr eigenes Durchdringungsvermögen auf.

Die Strahlung pflanzt sich in der Luft und im Vakuum gradlinig fort; die Strahlen werden weder reflektiert, noch gebrochen, noch polarisiert. Die Bezeichnung Strahlen ist ungeschickt gewählt: die radioaktive Strahlung ist ein ganz heterogenes Gebilde und hat mit den gewöhnlichen Strahlen — ausser dem Namen — absolut nichts gemein. Die Bezeichnung »Strahlen« versteht sich im weiteren Sinne des Wortes, das dann nicht etwas der Licht- und Wärmestrahlung Verwandtes, sondern eine sehr rasche, gradlinige Bewegung bezeichnet.

Die der Becquerel'schen Strahlung fähigen Körper sind bis jetzt nur in wenigen Vertretern bekannt. Unter ihnen ist am besten die Radiumstrahlung erforscht, deren Ergebnisse wir deshalb unseren folgenden Erörterungen zugrunde legen. Zum Nachweis der Strahlung eignen sich am besten solche Substanzen, welche durch auftreffende Strahlen zur Fluoreszenz gebracht werden können. Die gebräuchlichsten und auch geeignetsten unter ihnen sind Baryumplatincyanür, Zinkblende (Willemit), Uran- und Kaliumsulfat, verschiedene alkalische und erdalkalische Salze etc. Auf der photographischen Platte zeigt sich die Einwirkung der Radioaktivität in Gestalt einer Schwarzfärbung der Emulsionsschicht; diese Eigenschaft ist insofern für Untersuchungszwecke von grosser Bedeutung, als ihr verschiedener Grad ein gewisses Mass für die Intensitätsbestimmung der einwirkenden Strahlen abgibt und den Weg derselben bezeichnet.

Es bilden die von den Radiumpräparaten ausgehenden Strahlen ein kompliziertes Gemisch, und zwar können wir, was durch Annäherung eines starken Magneten nachzuweisen ist, vornehmlich drei voneinander verschiedene Hauptgruppen darstellen. Nach Rutherford's Vorschlag sind für dieselben die Bezeichnungen α, β und γ (alpha, beta und gamma) Strahlen eingeführt: sie können durch die Einwirkung eines starken Magnetfeldes und ihr variables Durchdringungsvermögen voneinander unterschieden werden. Curie veranschaulicht den Vorgang an einer Zeichnung; das Experiment kann in dieser Form nicht wirklich zur Ausführung gebracht werden. Die schematische Darstellung der Versuchsergebnisse soll nur zum besseren Verständnis der schwierigen Verhältnisse dienen. Sei ABC eine Ebene, auf welcher in einem gehöhlten Bleiblock P ein Quantum Radium R aufgelegt ist. Bei R entweicht nun die Radiumstrahlung in Form eines gradlinigen Büschels. Wenn sich nun in der nächsten Umgebung ein intensives magnetisches Kraftfeld befindet, von einem kräftigen Elektromagneten erzeugt, senkrecht zur Zeichnungsebene und von vorne nach hinten gerichtet, so können dadurch die einzelnen vom Radium emittierten Strahlengruppen voneinander getrennt werden. Ein Teil der Strahlung wird unter diesen Bedingungen stark nach der einen Seite abgelenkt (β), ein zweiter erheblich weniger nach der entgegengesetzten Seite (α) und der Rest der Strahlung (γ) setzt unbeeinflusst von der Kraft des Magneten seine gradlinige Fortpflanzungsbahn weiter. Die α-Strahlen treten als intensives Büschel, wie die schematische Zeichnung aufweist, aus ihrer Quelle aus, werden nur wenig von der magnetischen Kraft abgelenkt

und rasch in der Luft absorbiert. Auf der Zeichnungsebene beschreiben sie einen Weg mit grossem Krümmungsradius; die Richtung ihrer Ablenkung vollzieht sich im entgegengesetzten Sinne wie bei den β-Strahlen. Der Verbreitungsbezirk der α-Strahlen in der Luft ist auf einen Abstand von ca. 7 cm von ihrer Quelle an gerechnet begrenzt. Die β-Strahlen werden nach der anderen Seite abgelenkt, den Kathodenstrahlen ähnlich; auf der Zeichnungsebene beschreiben sie kreisförmige Bahnen mit den verschiedensten Krümmungsradien. Die



(Nach Curie, Untersuchungen.)

γ-Strahlen setzen, unbekümmert um die auf sie einwirkenden magnetischen Kräfte, ihren primären Weg fort.

Während die α- und γ-Strahlen neuartige Erscheinungen darstellen, erkennen wir in den β-Strahlen die schon lange Zeit bekannten Kathodenstrahlen wieder; die α-Strahlen entsprechen den Goldstein'schen Kanalstrahlen, die γ-Strahlen sind den Röntgenstrahlen zu vergleichen. Die Wirkungen der Radiumstrahlung: Fluoreszenz, elektrische und photographische Eigenschaften, können bis auf drei Meter Entfernung von der Strahlungsquelle noch deutlich erkannt werden; das Radium liefert auch das erste und bisher einzige Beispiel eines Körpers, der sich selbsttätig mit elektrischer Energie aufladen kann. Diejenigen Strahlen, welche einen festen homogenen Körper in

erheblicher Dicke durchsetzt haben, erhalten eine ausserordentlich grosse Durchdringungskraft. Ihr Anteil an der Totalstrahlung ist aber gering; der grösste Teil derselben wird bereits beim Passieren ganz dünner Objekte absorbiert; die α-Strahlen werden beim Passieren ganz dünner Körper völlig aufgenommen, die β-Strahlen schon erheblich weniger und der γ-Strahlung können überhaupt wenige Substanzen etwas anhaben: sie ist imstande, einen Bleiblock von mehreren Zentimetern Dicke anstandslos zu durchdringen! Die Becquerel-Strahlen wirken auf die Gewebe des tierischen Körpers und auf pflanzliche Gebilde deletär ein, ähnlich den X-Strahlen aus einer Röntgenröhre; einzelne Präparate, Radium-Baryumgemenge mit mehr oder weniger aktivem Gehalt, besonders aber reines Radiumbromid, finden in der Medizin zu Heilzwecken erfolgreiche Anwendung. Ueber die Radiumtherapie handelt ein späterer Abschnitt unseres Vortrages ausführlich.

Nachdem wir nun einige allgemeine Bemerkungen vorausgeschickt haben, gehen wir auf die einlässlichere Charakterisierung der einzelnen Strahlengruppen genauer ein.

Die α-Strahlengruppe tritt als quantitativ reichste aus der radioaktiven Substanz aus. Sie bildet auch den Hauptbestandteil der Radiumstrahlung überhaupt und es scheint die Annahme berechtigt zu sein, dass sie ihren Ausgangspunkt von der Oberfläche der strahlenden Substanz nimmt. Es sind die α-Strahlen genetisch aufzufassen als kleinste, materielle, mit positiver Elektrizität geladene Teilchen, die sich, gleich Projektilen, mit ungeheurer Geschwindigkeit im Raum weiter bewegen. Sie verhalten sich ähnlich wie die vom Polonium emittierten Strahlen, scheinen aber eine homogene Gruppe für sich zu bilden, in welcher alle Komponenten derselben in gleicher Weise und annähernd gleich stark von einem magnetischen Kraftfeld abgelenkt werden. Allerdings wirkt dasselbe nur schwach auf sie ein und es erfolgt die magnetische Ablenkung in derselben Weise, wie bei den Kathodenstrahlen, aber in umgekehrtem Sinne. Ihre Fortpflanzung geschieht geradlinig und sie sind imstande, scharfe geometrische Schatten zu liefern. Nach dem Austritt der α-Strahlen aus dem sie produzierenden Radiumpräparat — nur ein Teil von ihnen gelangt überhaupt in die Aussenwelt — werden sie in der umgebenden Luft stark absorbiert und verschwinden nach kurzem Lauf vollständig. Ihr Ausbreitungsgebiet ist auf ca. 7 cm Abstand von der Quelle der Strahlung begrenzt. Die α-Strahlenemission ist nicht fähig, dichte Körper zu durchdringen; schon von dünnen Schichten fester Körper wird sie fast völlig aufgenommen (absorbiert); durch ein Papierblatt, durch Aluminiumfolien von einigen Hundertstel

Millimeter Durchmesser wird sie vollständig aufgezehrt. Befindet sich das Radiumpräparat, wie das vielfach üblich ist, eingeschmolzen in einem Glasröhrchen, so treten α-Strahlen überhaupt nicht in die freie Luft, die Glashülle hält sie vielmehr vollständig zurück. Die Vorstellung, derzufolge die α-Strahlen als fortgeschleuderte Projektile aufgefasst werden, erklärt uns auch die Tatsache, dass sie beim Passieren aufeinanderfolgender isolierender Substanzen immer weniger durchdringend werden, ganz ungezwungen derart, dass eben ihre Energie während des Durchdringens der einzelnen Substanzen abnimmt und sich nach und nach erschöpft; ein Durchgang durch isolierende Körper vermag die α-Strahlen um so stärker zu absorbieren, je weiter weg sie sich von ihrem Ausgangspunkt befinden. Die α-Strahlen ionisieren die Luft und sind den Goldstein'schen Kanalstrahlen analog. Sie sind es auch, die im Spinthariskop (Crookes) wirken (Demonstration). Ausserordentliches Interesse bieten einige Zahlenangaben, die ich der schönen Arbeit von Becker entnehme. Für die α-Strahlen finden sich da folgende numerische Eigenschaften. Die Geschwindigkeit der einzelnen α-Teilchen, im Vakuum gemessen, beträgt $v = 1{,}65 \times 10^9$ cm oder, mit anderen Worten, die α-Strahlenbewegung ist 20 mal geringer als die des Lichtes; die Lichtgeschwindigkeit beträgt nämlich $v = 3 \times 10^{10}$ cm = 300000 km. Die Grösse der Teilchen wird ausgedrückt durch die Gleichung $\frac{e}{m} = 6400$, das will sagen, die Grösse der elektrischen Ladung e eines Teilchens verhält sich zu seiner Masse m wie 6400 : 1. Die mitgeführte Elektrizitätsmenge der von einem Gramm Radium ausgehenden Strahlen ist einem elektrischen Strom in der Stärke von $1{,}5 \times 10^{-9}$ Ampères vergleichbar. In die Gleichung $\frac{e}{m} = 6400$ eingesetzt, ergibt sich die Masse der von 1,0 g Radium oder von 1,62 g Radiumbromid ausgehenden α-Strahlen, nämlich

$m = 1{,}6 \times 10^{-4} \times 1{,}5 \times 0{,}1 \times 10^{-9} = 0{,}24 \times 10^{-13}$ g.

Daraus ergibt sich die durch α-Strahlungsemission bedingte Gewichtsabnahme für 1,0 g Radium oder 1,62 g Radiumbromid per Stunde zu $8{,}6 \times 10^{-8}$ mg oder per Jahr zu 0,00075 mg.

In den β-Strahlen treten uns Analoga zu den Kathodenstrahlen entgegen. Wir haben die β-Strahlen aufzufassen als materielle, mit negativer Elektrizität geladene kleinste, korpuskuläre Gebilde, angetriebene negative Elektronen, die mit grösster Geschwindigkeit von der Strahlungsquelle fortgeschleudert werden. Vom Magneten werden sie stärker als die α-Strahlen aus ihrer Bahn abgelenkt, in derselben Weise und im gleichen Sinn wie die

Kathodenstrahlen; die Richtung der magnetischen Ablenkung ist also entgegengesetzt derjenigen bei den α-Strahlen. Auch im Vakuum werden die β-Strahlen ebenso wie die α-Strahlen durch die magnetische Kraft abgelenkt. Die Gruppe der β-Strahlen ist nicht homogen, sie stellt vielmehr ein heterogenes Gemisch dar. Es finden sich innert demselben verschiedene Strahlencharaktere, die besonders durch ihr Verhalten gegenüber dem magnetischen Feld unterschieden werden können. Finden wir unter ihnen doch solche, die wenig, andere, die erheblich stärker von einem magnetischen Kraftfeld abgelenkt werden; und endlich solche, die schon durch ein ganz schwaches Feld ihre primäre Richtung zu ändern gezwungen werden können. Allgemein kann man sagen, die Beeinflussung der β-Strahlen durch das Magnetfeld (magnetische Ablenkung) ist um so grösser, je kleiner ihre Geschwindigkeit und je grösser das schon früher berührte Verhältnis $\frac{e}{m}$ ist. Dass nicht alle der Gruppe der β-Strahlen angehörigen Strahlenarten gleich stark abgelenkt werden, ergibt sich schon aus der Tatsache, dass der Lichtpunkt, der sich auf der photographischen Platte abbildet, nicht punktförmig sich darstellt, sondern in einen breiten Streifen ausgezogen wird. Auch eine elektrische Kraft vermag eine Ablenkung auszulösen; durch negativ geladene Körper werden die β-Strahlen abgestossen. Die Luft bewirkt eine Zerstreuung derselben. β-Strahlen treten nie für sich allein aus einer Strahlungsquelle aus. Bei grösserer Entfernung von derselben sind die α-Strahlen bereits absorbiert und neben den β-Strahlen beobachten wir dann nur noch das Vorkommen von γ-Strahlen. Die β-Strahlen sind weniger absorbierbar als die α-Strahlen. Sie ionisieren die Luft und andere Gase, machen sie also für Elektrizität leitend (aber weniger stark als die α-Strahlen), und zwar um so mehr, je geringer ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist. Die Gruppe der β-Strahlen besitzt ein gewisses Durchdringungsvermögen, das aber nicht bei allen Arten derselben Gruppe gleich gross ist. Einzelne von ihnen werden bereits von einem äusserst dünnen Aluminiumblättchen absorbiert, während andere Vertreter der β-Strahlenfamilie mehrere Millimeter starkes Bleiblech zu durchdringen vermögen. Ihre Durchdringungsfähigkeit ist proportional der Schnelligkeit, mit welcher sich der Strahl fortbewegt, mit anderen Worten, ein β-Strahl durchdringt materielle Körper um so besser, je schneller sein Weg sich vollzieht. Die Bahnen, welche die magnetisch abgelenkten β-Strahlen beschreiben, sind kreisförmig und stehen senkrecht zur Richtung

des Magnetfeldes; die am stärksten abgelenkten Strahlen, welche den kleinsten Krümmungsradius aufweisen, werden auch am stärksten absorbiert. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der β-Strahlen weist Zahlen auf, die derjenigen des Lichtes nahe kommen und es ist unschwer zu verstehen, dass Projektile, mit so geringer Masse und so ungeheurer Geschwindigkeit ausgestattet, ein bedeutendes Durchdringungsvermögen besitzen müssen. Ein Radiumpräparat vermag β-Strahlen der verschiedensten Art ausznsenden und die Geschwindigkeit ihrer Fortpflanzung liegt zwischen $v = 1 \times 10^9$ cm bis nahe zum Grenzwert $v = 3 \times 10^{10}$ cm (Lichtgeschwindigkeit) verteilt. Die relative Intensität der β-Strahlen vermehrt sich mit zunehmender Entfernung von der Quelle der Strahlung. Die von 1,0 g Radium oder 1,62 g Radiumbromid ausgestrahlte Menge negativer Elektrizität ist vergleichbar einem konstanten elektrischen Strom von $1{,}6 \times 10^{-9}$ Ampères. Der Verlust eines Radiumpräparates, 1,0 g Radium oder 1,62 g Radiumbromid, durch die kontinuierlich und selbsttätig ausgesandten β-Strahlen beziffert sich per Stunde auf $3{,}96 \times 10^{-11}$ mg oder per Jahr auf 0,000000350 mg, wobei die Masse eines einzelnen Teilchens zum zweitausendsten Teil eines Wasserstoffatomes angenommen wird; ein α-Strahlen-Teilchen wird in seiner Masse einem Wasserstoffatom gleichgerechnet.

Die γ-Strahlen sind weder durch magnetische noch durch elektrische Kräfte aus ihrer geradlinigen Fortpflanzungsbahn ablenkbar: sie sind gegen die Wirkungen des Magnetes unempfindlich. In ihrer Genese sind sie aufzufassen als Aetherwellen, welche sich wahrscheinlich aus ultraviolettem Licht und Röntgenstrahlen zusammensetzen. Sie bilden nur einen schwachen Teil der Gesamtstrahlung des Radiums und besitzen keine elektrische Ladung. Sie vermögen, wie die α- und β-Strahlen, die Luft und andere Gase für Elektrizität leitend zu machen, sie zu ionisieren. Auf der photographischen Platte lässt ihre Einwirkung nur schwache Spuren zurück. Ihre Energie ist ungleich viel grösser als die der β-Strahlen: sie sind ausserordentlich durchdringend; gewisse γ-Strahlen vermögen sogar mehrere Zentimeter dicke Bleiblöcke zu penetrieren! Die γ-Strahlen werden allgemein als Analoga zu den Röntgenstrahlen betrachtet. Ihr Verhalten ist ähnlich demjenigen der x-Strahlen, und zwar solchen aus harten, hochevakuierten Röntgenröhren. Wie diese, sind sie unelektrisch und durchdringen feste Körper mit grösster Leichtigkeit. Während ein 2 mm dickes Bleiblech die Röntgenstrahlen fast vollständig zurückhält, können sich die γ-Strahlen noch durch Bleistücke von 5—6 cm hindurch bemerkbar machen.

Diese Tiefenwirkung, die allerdings bei ärztlichen Bestrahlungen lange nicht so tief reicht, lässt sie zur Therapie verwertbar erscheinen; zu diagnostischen Zwecken sind sie nicht wohl zu gebrauchen, weil sie keine scharfen Knochenbilder geben können (Demonstration). Der Vollständigkeit halber will ich nicht versäumen, auch den neuesten Ansichten Raum zu geben, denen zufolge die γ-Strahlen, trotz ihres negativen Verhaltens gegenüber dem Magnetfeld und ihrer hohen Durchdringungsfähigkeit als etwas von den Röntgenstrahlen prinzipiell Verschiedenes angesehen werden sollen. Es wird da geltend gemacht, die γ-Strahlen seien auch Kathodenstrahlen und besitzen negative Elektrizität. Weil die Absorption der γ-Strahlen so ausserordentlich gering ist, dass sie sozusagen alle Verschlussapparate zu durchdringen vermögen, lassen sie sich erst durch ganz dicke Bleiplatten soweit aufhalten, dass man imstande ist, ihre mitgeführte Elektrizität durch Messapparate zu bestimmen.

Auch die anderen radioaktiven Substanzen senden Strahlen aus, welche sich ähnlich der Strahlung des Radiums verhalten. Die Polonium-Strahlen sind, wie bereits früher mitgeteilt, den α-Strahlen vergleichbar; sie besitzen nur geringe Penetrationskraft und werden vom Magneten in derselben Weise wie diese abgelenkt. β- und γ-Strahlen sind beim Polonium noch nicht gefunden worden. Die Quelle der Radiumstrahlung ist fast unerschöpflich, die der Poloniumstrahlung versagt schon nach wenigen Jahren. Aktinium, Thorium und Uranium, ebenso die radioaktiven Bleipräparate senden α- und β-Strahlen aus, γ-Strahlen vermochte man bei ihnen noch nicht nachzuweisen.

* * *

Weitere Eigenschaften der Radiumsalze und Effekte der Selbststrahlung. Atomgewicht. Spektrum. Fluoreszenz und Lichteffekte. Färbung einzelner Körper durch Radium. Thermoluminiszenz. Gasentwicklung. Chemische und photographische Wirkungen. Wärmeentwicklung durch die und Wirkung der Temperatur auf die Strahlung. Ionisierung und Ozonisierung.

Nachdem wir im vorhergehenden Teil unseres Vortrages Bemerkungen mehr allgemeiner Natur vorausgeschickt haben, möchten wir im folgenden versuchen, auf einzelne der wichtigsten Eigenschaften der radioaktiven oder selbststrahlenden Stoffe etwas näher einzugehen.

Das Atomgewicht des Radiums beträgt nach Untersuchungen und Berechnungen der Mme Curie 225, und zwar unter der Annahme, dass es ein zweiwertiges Element sei,

seinem Chlorid also die Formel $RaCl_2$ zukomme und unter Zugrundelegung der Atomgewichte für Silber Ag = 107,8 und für Chlor Cl = 35,4. Radium gehört in die Gruppe der schwersten Elemente. Es kommen ihm in bezug auf die Höhe des Atomgewichts nur wenige Elemente nahe und nur zwei übertreffen dasselbe. Die internationale Atomgewichtskommission hat folgende Zahlen endgültig festgestellt und statuiert folgende Atomgewichte (nach Becker):

Atomgewicht	des	Uranium	236,7
,,	,,	Thorium	230,8
,,	,,	Radium	223,3
,,	,,	Wismut	206,9
,,	,,	Blei	205,35

Ueber das gegenseitige Verhältnis zwischen der Höhe des Atomgewichts und der radioaktiven Strahlung werden wir uns am Schluss genauer auslassen, woselbst wir auch die einzelnen Erklärungsmöglichkeiten für diese wunderbaren Eigenschaften näher zu beleuchten haben werden.

Radium weist im ferneren ein ganz eigenartiges und für dasselbe als Element charakteristisches Spektrum auf. Demarçay fand im ultravioletten Teil desselben einige charakteristische »Radiumlinien«, und zwar in der Gegend zwischen $\lambda = 500{,}0\ \mu\mu$ (tausendstel Mikron) und $\lambda = 350{,}0\ \mu\mu$. Wird die Intensität jeder dieser Linien durch eine Zahl, wobei die stärkste Linie gleich 16 gesetzt wird, angegeben, so liegen die Verhältnisse folgendermassen (Curie):

Ist die Wellenlänge										
$\lambda = 482{,}63$,	so	ist	die	Intensität	der	diesem	Spektralteile	entspr.	Linie	$I = 10$
$\lambda = 472{,}69$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 5$
$\lambda = 469{,}98$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 3$
$\lambda = 469{,}21$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 7$
$\lambda = 468{,}30$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 14$
$\lambda = 464{,}19$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 4$
$\lambda = 453{,}35$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 9$
$\lambda = 443{,}61$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 8$
$\lambda = 434{,}06$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 12$
$\lambda = 381{,}47$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 16$
$\lambda = 364{,}96$,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	,,	$I = 12$

Die Absorptionslinien zeichnen sich durch besonders scharfe Konturierung aus. Das Spektrum gleicht dem der Erdalkalimetalle; neben den schon erwähnten scharfen Linien finden sich im ultravioletten Teil zwei breitere, verwaschene Banden. Das Radium färbt die Flamme intensiv karminrot; sein Flammenspektrum enthält drei Linien, eine im Blaugrün, zwei andere im Violett und ausserdem noch zwei schöne, rote, bandförmige Streifen (Giesel). Im Wismut-Polonium und Thor-Aktinium liessen sich bis jetzt nur die Linien des Wismut resp. Thor nachweisen (Curie).

Die radioaktiven Stoffe produzieren Fluoreszenz respektive Phosphoreszenz und Lichteffekte. Fluoreszenz ist die Eigenschaft mancher Körper, unter dem Einfluss des Lichtes selbstleuchtend zu werden; unter Phosphoreszenz versteht man das im Dunkeln wahrnehmbare Leuchten einzelner Körper bei gewöhnlicher Temperatur, ein Vorkommnis, wie wir es ähnlich, dem Effekte nach, bei faulendem Holz etc. oft genug gesehen haben oder auch als Produkt des Stoffwechsels verschiedener Tiere, den Leuchtkäfern beispielsweise, kennen. Die emittierten selbstleuchtenden Strahlen rufen nun bei einer ganzen Reihe verschiedener Körper Fluoreszenz hervor, ein Phänomen, welches proportional dem Aktivitätsgehalt der radioaktiven Substanz an überraschender Schönheit zunimmt. Die Fluoreszenz ist nicht Eigenschaft etwa nur einer Strahlengruppe, sondern scheint allen in gleichem oder ähnlichem Masse zuzukommen; graduelle quantitative Unterschiede sind allerdings vorhanden. Das vom Radiumbromid ausgehende Licht scheint, ceteris paribus, am intensivsten zu leuchten und kann bei besonders aktiven Präparaten nach vorangegangener Erhitzung bereits bei Tageslicht wahrgenommen werden. Das Radium und seine Verbindungen stellen das erste Beispiel eines Körpers dar, der spontan (von selbst) und kontinuierlich (beständig) leuchtet! Von denjenigen Stoffen nun, welche unter der Einwirkung der Becquerel-Strahlen zur Fluoreszenz gebracht werden können, nenne ich als die bekanntesten und wichtigsten verschiedene alkalische und erdalkalische Salze; verschiedene Glassorten — unter ihnen das sog. Thüringerglas besonders stark leuchtend; Quarz; Diamant — Diamant leuchtet unter der Einwirkung der Radiumstrahlen, wie ich Ihnen hernach zeigen will, so wunderbar hell, dass die Radiumstrahlen das beste Erkennungsmittel abgeben, um ihn von seinen minderwertigen Nachahmungen zu unterscheiden, denn Bleiglas-Falsifikate und Substitutionen ähnlicher Provenienz leuchten viel weniger intensiv —; Kaliumuranyldoppelsilikat; Schwefelstrontium; Willemit (natürliche Zinksilikatkristalle); Sidot'sche Zinkblende, sie alle nehmen unter der Einwirkung der ausgesandten Strahlen lebhaften Glanz an; Kunzit (= Erozit) leuchtet in lachsroter Farbe. Phosphoreszierendes Zinksulfat schimmert hell und behält auch nach dem Aufhören der strahlenden Einwirkung noch für einige Zeit seine Leuchtkraft bei. Organische Stoffe (Papier, Baumwolle, Cinchoninsulfat etc.) können in der Nähe von Radiumpräparaten zur Fluoreszenz gebracht werden. Zur Demonstration der Fluoreszenz und Phosphoreszenz eignet sich, wie ich Ihnen hier vorzeige, am besten das Baryumplatincyanür, das, auf einer Karton-

fläche aufgeklebt, auch in der Röntgenologie in Gestalt eines sog. Durchleuchtungsschirmes ausgedehnte Verwendung findet. Unter Benützung eines solchen Leucht- oder Fluoreszenzschirmes können bei starken Präparaten zwischen denselben und das strahlenspendende Medium absorbierende Substanzen, sogar der menschliche Körper oder eine Luftstrecke von gegen zwei Meter und mehr eingeschaltet werden, ohne dass deswegen die Fluoreszenz ganz verloren ginge; die Fluoreszenzwirkung ist naturgemäss am schönsten und zugleich auch am intensivsten, wenn das Radiumsalz dem Schirm direkt aufliegt.

Die einzelnen Strahlengruppen zeigen für verschiedene Körper besonders starke Fluoreszenz: Willemit und Baryumplatincyanür leuchten am schönsten unter der Einwirkung der β-Strahlen; unter α-Strahlen leuchtet besonders Sidot'sche Blende in prächtigem Glanz. (Spinthariskop, Demonstration.) Metalle scheinen, bis jetzt wenigstens, nicht leuchtend gemacht werden zu können. Besonders stark ist das von den wasserfreien Haloidsalzen des Radium, Radiumbromid beispielsweise, ausgehende Fluoreszenzlicht; Feuchtigkeit raubt ihnen einen grossen Teil ihrer Leuchtkraft, dagegen erholen sie sich in trockener Luft rasch wieder. Im Unterschied zu den gewöhnlichen phosphoreszierenden Körpern geht der Lichteffekt nicht von einer vorbelichteten Fläche aus, sondern strahlt von der Gesamtmasse des Radiumpräparates selbstständig, ohne irgend welche Vorbereitungen, aus. Es muss demnach die selbsttätige Leuchtfähigkeit durch die Tatsache ihre Erklärung finden, dass die Substanz durch die von ihr selbst fortwährend emittierten Becquerel-Strahlen in einer Art permanenter Fluoreszenz gehalten wird.

Die Umwandlung einer Energieform in Licht heisst Luminiszenz. Durch chemische Energie entsteht derart die Chemo-Luminiszenz; als Paradigmata derselben wären zu nennen: die blaue Weingeistflamme, das Leuchten des Phosphors an der Luft im Dunkeln. Flussspat zeigt bei mässiger Erwärmung eine Art Lichterscheinung: Thermo-Luminiszenz. Umwandlung elektrischer Energie in Licht heisst Elektro-Luminiszenz: ein schönes Beispiel derselben ist das prächtige Leuchten der Geissler-Röhren. Zur Photo-Luminiszenz, aus der Umwandlung absorbierter Lichtstrahlen, gehören die Erscheinungen der Phosphoreszenz und die Fluoreszenz. Wir knüpfen an das vom Flusspat gegebene Beispiel an. Durch Erhitzen kann der Flusspat zum Leuchten gebracht werden: er ist thermoluminiszent. Nach einiger Zeit erschöpft sich diese Leuchtfähigkeit. Um ihm nun die Möglichkeit, durch Erwärmung leuchtend oder thermo-

luminiszent zu werden, wiederzugeben, braucht man ihn einfach der Einwirkung eines elektrischen Funkens oder der Radiumstrahlung auszusetzen: die Radiumstrahlen sind imstande, die Thermo-Luminiszenz des Flusspates, nach vorheriger Erschöpfung dieses Zustandes, zurückzuführen. Wie ist dieser Vorgang zu erklären? Durch die Erhitzung vollzieht sich im Flusspat eine von einer Lichtemission begleitete Umwandlung. Durch die Einwirkung des Radiums findet wieder eine Beeinflussung statt, aber im umgekehrten Sinn und abermals ist dieselbe von einer Lichterscheinung begleitet: der Flusspat geht durch diese Einwirkung in seinen primären Zustand zurück. Etwas ganz Aehnliches vollzieht sich beim Glas. Wird Radium in einem Glasröhrchen aufbewahrt, so ändert dieses, wie ich Ihnen zeigen werde, seine Farbe; erst nimmt es einen bläulichen Ton an, wird hernach dunkel-violett und endlich fast schwarz: es vollzieht sich also in der Substanz des Glases ein Umwandlungsprozess, durch welchen, direkt veranlasst, die Verfärbung progressiv zunimmt, seine Fluoreszenzfähigkeit büsst es dabei fast ganz ein. Durch starkes Erhitzen kann dieses verfärbte Glas sukzessive wieder weiss oder, besser gesagt, farblos gemacht werden. Während dieses Regenerationsprozesses leuchtet das Glas auf: Thermo-Luminiszenz und seine Fluoreszenzfähigkeit kehrt zurück. Also wieder eine Umwandlung, aber im entgegengesetzten Sinne: die Färbung verschwindet und dieses Verschwinden ist von einer eigenartigen Lichtemission begleitet. Durch diese Umwandlung ist das Glas, man könnte sagen, in seinen Urzustand zurückgekehrt und dadurch wieder geeignet, abermals durch die Einwirkung der Radiumstrahlen gefärbt zu werden. Es ist wahrscheinlich, dass bei diesen Vorgängen chemische Veränderungen im Spiel sind, an welche die Lichtentwicklung geknüpft ist.

Betrachten wir nunmehr die Fähigkeit des Radiums, einzelne Körper zu färben oder in gefärbten Substanzen deren primäre Farbe zu verändern. Ein farbloses Glasstück, das der Strahlung längere Zeit ausgesetzt wird, oder ein ebensolches Glasröhrchen, das als Radiumbehälter dient, wird mit der Zeit, wie bereits erwähnt, bläulich, violett, ja sogar braun oder fast schwarz. Ein ähnlicher Vorgang vollzieht sich bei Röntgenröhren: eine vielgebrauchte Röntgenröhre besitzt eine nahezu schwarzbraune oder dunkel-schwarzviolette Kugel. Hier wie dort zeigt sich die Masse des Glases selbst durch und durch gefärbt und diese Färbung bleibt auch dann noch selbständig bestehen, wenn die Ursache der Verfärbung

nicht mehr einwirkt. Einzelne Salze der Alkalien nehmen unter der Einwirkung der selbstleuchtenden Radiumstrahlen gelbe Farbentöne an, andere werden violett, blau oder grünlich verfärbt. Durchsichtiger Quarz geht in eine andere Modifikation über: Rauchquarz und der farblose Topas erhält ein orangegelbes Kolorit; Kaliumuranylsulfat wird gelb. Das grünliche Baryumplatincyanür, mit dessen Hilfe wir die Strahlung am deutlichsten sichtbar machen können, bräunt sich nach und nach und büsst seine Fluoreszenzfähigkeit partiell ein; durch längere Einwirkung des Sonnenlichtes kann es seine ursprüngliche Farbe wieder erhalten: es wird regeneriert. Längere Zeit hindurch den radioaktiven Strahlen exponierte phosphoreszierende Substanzen werden nach und nach verändert: sie verlieren einen Teil ihrer Leuchtkraft und zeigen Veränderungen in ihrer Färbung. So erschöpft sich beispielsweise der Strahlung genügend lange ausgesetztes Zinksulfid und seine Phosphoreszenz schwindet nach und nach.

Nicht genug daran, dass ein Radiumpräparat die Substanz seines gläsernen Behälters verändert, auch die Luft, in die es eingeschlossen ist oder die in den Poren seines Gefüges sich findet, wird unter Umständen für den Experimentator recht gefährlich. Sowohl die festen Radiumsalze, beispielsweise das Chlorid oder das Bromid, als auch ihre Lösungen, haben die Fähigkeit, fortwährend Gase zu entwickeln, welche in den festen Substanzen teilweise okkludiert werden. Dieses Gas ist komplizierter Natur, eigentlich ein Gemisch verschiedener Gasarten. Sauerstoff und Wasserstoff sind in ihm hauptsächlich vertreten, und zwar in einer dem Wasser (H_2O) sehr nahe kommenden Zusammensetzung. Daneben wurde noch Kohlensäure gefunden, ferner Helium und im Spektrum gar noch einige unbekannte Linien. Der zunehmende Druck der in den kleinen Raum eines Glasröhrchens eingeschlossenen Gase kann eine Explosion verursachen. Es ist deshalb gefährlich, altes Radium mit höheren Temperaturen in Verbindung zu bringen oder Radium längere Zeit in demselben Glasröhrchen aufzubewahren.

Als weitere wichtige Eigenschaft der radioaktiven Strahlung lernten wir bereits früher in flüchtigen Andeutungen ihre chemischen und photographischen Wirkungen kennen; Fluoreszenz- und Färbungserscheinungen, von denen weiter oben die Rede war, gehören wohl auch zum Kapitel der chemischen Veränderungen. Ob speziell die Verfärbung des Glases an die Gegenwart von Alkalimetallen gebunden ist, ist noch nicht endgültig entschieden. Ebenfalls einer chemischen Reaktion gleichzustellen ist die unter der

Einwirkung der Radiumstrahlen sich vollziehende Umwandlung des weissen Phosphors in seine rote Modifikation. Durch dieselbe Einwirkung wird Papier verändert; es wechselt seine Farbe, wird brüchig, erhält ein eigentümlich siebartiges Aussehen und zerfällt nach und nach. Veränderungen wahrscheinlich auf Grund chemischer Prozesse vollziehen sich aber auch im Radiumpräparat selbst. Die Umwandlungen, welche diese Substanz unter der Einwirkung ihrer eigenen Strahlenemission erleidet, sind dissoziativer Natur: es entwickeln sich aus ihnen verschiedene Halogenverbindungen: des Chlors im Chlorradium, des Broms im Radiumbromid; ausserdem scheiden Radiumsalzlösungen nach Giesel's Untersuchungen ständig Wasserstoff ab.

Aehnlich dem Licht vermag die radioaktive Strahlung auf die Emulsionsschicht der photographischen Platte einzuwirken. Mit Hilfe der Radiumstrahlen kann man Radiographien herstellen; die vom Polonium emittierten Strahlen wirken in ähnlichem Sinne ein, aber nur auf geringe Entfernungen. Obschon das ganze Prozedere zur Herstellung von Radiographien ausserordentlich viel einfacher ist als zur Herstellung von Röntgenographien, ist es doch so gut wie ausgeschlossen, dass die Radiumstrahlen in dieser Beziehung den Röntgenstrahlen Konkurrenz machen können. Die Radiographie ermangelt, wie Sie das an den herumgegebenen Negativen deutlich sehen können — Radium- und Röntgenbilder desselben Objektes nebeneinander — in erster Linie der Schärfe. Die β-Strahlen erfahren, wie wir bereits früher betont haben, beim Durchstrahlen eine Zerstreuung und sie sind es denn auch, welche an der Verschwommenheit, der Verzerrung und der Verschleierung des Bildes die Schuld tragen. Man könnte sie allenfalls durch ein magnetisches Feld zur Seite lenken in der Weise, dass der Radiumbehälter, welcher zur Photographie die Strahlen liefert, zwischen den Polen eines Elektromagneten angebracht wird. Die β-Strahlen werden dadurch stark abgelenkt und nur die γ-Strahlen gehen ihren geradlinigen Weg zur Platte unbeeinflusst weiter. Nur diese γ-Strahlen allein können zu einer den Röntgenbildern ähnlichen Darstellung, z. B. anatomischer Verhältnisse, benutzt werden. Sie sind jedoch nur in so verhältnismässig geringer Menge in einem Radiumpräparat enthalten, dass eine relativ sehr grosse Menge Radium, welche der Kosten halber kaum aufzutreiben wäre, zur Anwendung kommen müsste. Die Expositionszeit für Radiographien ist verschieden, je nach der Stärke des angewandten Präparates. Meine Bilder sind mit 20—30 Minuten Expositionsdauer bei einem Abstand zwischen Präparat und Platte von zirka

5 cm hergestellt worden. In unmittelbarer Nähe der Strahlungsquelle wird eine Platte fast augenblicklich alteriert.

Die Radiumsalze sind imstande, spontan und konstant Wärme zu erzeugen: ihre Eigentemperatur ist höher als die Temperatur ihrer Umgebung! Auch in dieser Beziehung nehmen diese merkwürdigen Körper eine Sonderstellung ein und unterscheiden sich diesbezüglich von allen anderen Substanzen, die wir in der Natur kennen, prinzipiell. Diese selbsttätige Wärmeentwicklung hält die Temperatur eines Radiumpräparates 3—5° C. höher als die der Nachbarschaft. Das in einer bestimmten Zeit durch die Strahlung abgegebene Wärmequantum wird in einfacher Weise bestimmt, indem man die Eismenge genau misst, welche während dieser Zeit geschmolzen wird. 98,5 Kalorien produziert ein Gramm Radium während einer Stunde, eine hinreichende Wärmemenge um 1 g Wasser um 98,5°, rund also 100° C., erwärmen zu können! Diese wunderbare Wärmeproduktion, zu welcher die γ-Strahlen das Hauptkontingent liefern, wird durch Energieumwandlung der Strahlung erklärt.

Die Intensität der Strahlung, ihre Strahlenemission, ihre Leuchtfähigkeit, ihre Fluoreszenzerscheinungen etc. bleiben immer dieselben, ob sich das strahlenspendende Medium auf der Temperaturhöhe seiner Umgebung befinde oder in einem Gefäss mit flüssiger Luft, bei —180° C. Bei 800° C. bleibt Radium noch radioaktiv und leuchtend. Allerdings wird längeres Erhitzen auf hohe Temperaturen nach und nach von einer Intensitätsabnahme der Strahlung gefolgt, welche bis zu 75 Prozent der Gesamtstrahlung ausmachen kann, und zwar haben die diesbezüglichen Untersuchungen gelehrt, dass die Reduktion für die leichter absorbierbaren Strahlen geringer ist als für die durchdringenden γ-Strahlen, welche durch die Temperaturerhöhung vorübergehend gewissermassen »gelähmt« werden. Erst im Laufe der Zeit, gewöhnlich nach einigen Monaten, hat die Strahlungsintensität ihre normale Höhe, die sie vor der Erhitzung besass, wieder erreicht.

Eine Methode zur Messung der radioaktiven Strahlung macht sich eine andere wichtige Eigenschaft derselben zu Nutzen: die von ihr durchlaufenen Luftstrecken macht sie für Elektrizität leitend, sie werden von ihr ionisiert. Nähert man zum Nachweis einem Radiumsalz ein Elektroskop, so wird es sofort entladen. Dieselbe Ursache bringt es mit sich, dass der Funkenübergang zwischen zwei Elektroden erleichtert wird: die Funkenlänge zwischen zwei metallischen Leitern wird unter dem Einfluss der radioaktiven Strahlung für eine gegebene Potentialdifferenz vergrössert. Eine andere Eigenschaft ist die Ozonisierung: Entwicklung von Ozon in der Luft, sobald sie mit einem

Radiumpräparat in direkter Verbindung steht. Für diese Verbindung ist ein enger Kanal, eine Kapillarröhre, schon hinreichend. Von verschlossenen Radiumbehältern geht keine ozonisierende Wirkung aus; wird er aber geöffnet, so entwickelt sich rasch starker Ozongeruch.

* * *

Induzierte Radioaktivität, Aktivierung und Entaktivierung; Emanation, ihre Eigenschaften und ihr Vorkommen. Helium. Während wir uns bei den bisherigen Betrachtungen auf dem sicheren Boden unangefochtener und bewiesener Tatsachen befunden haben, gehen wir im nächsten Kapitel auf ein Gebiet über, woselbst Theorie und Hypothese zum Teil weiten Spielraum beanspruchen, auf ein Gebiet, das nicht allein des Hochinteressanten die Fülle bietet, dessen Lösung aber auch gleichzeitig zu den schwierigsten Rätseln gehört, welche dem denkenden Forschergeist aufgegeben werden können.

Weitere wunderbare und ausserordentlich wichtige Aeusserungen der Energie des Radiums belegen die Gelehrten mit den Bezeichnungen induzierte Radioaktivität und Emanation. Damit hat es nun folgende Bewandtnis.

Wenn ein Körper — sein Aggregatzustand (fest, flüssig oder gasförmig) ist dabei gleichgültig — in der Nachbarschaft eines Radiumsalzes oder einer Radiumsalzösung sich befindet oder einige Zeit zusammen damit aufbewahrt wird, so geht gleichsam ein Teil der aktiven Kraft auf ihn über und er ist nunmehr seinerseits selbständig fähig, für einige Zeit Becquerelstrahlen auszusenden, er ist, wie man sich ausdrückt, induziert radioaktiv geworden. Diese seine neue Energie nimmt nach und nach ab und verschwindet endlich wieder. Am besten geht diese Aktivierung in einem allseitig geschlossenen Gefäss (Aktivierungsgefäss) vor sich. Die Aktivität, welche durch besondere Vorrichtungen gemessen werden kann, wächst proportional mit der sie erzeugenden Radiummenge und ist unabhängig von der Art und der Zusammensetzung der aktivierten Substanz (Aluminium, Blei, Glas, Hartgummi, Kupfer, Papier, Paraffin, Wachs etc.); sie wächst mit der Grösse des freien Raumes vor der zu aktivierenden Fläche. Die radioaktive Strahlung spielt bei der Erzeugung der induzierten Radioaktivität keine Rolle; Bedingung zu ihrer Entstehung ist lediglich der direkte Kontakt des zu aktivierenden Stoffes mit dem Radiumsalz durch Auflegen desselben oder durch Vermittlung eines gasförmigen Zwischenraumes. Ersetzt man bei der Aktivierung das feste Radiumsalz durch seine wässerige Lösung, so erscheint eine solche ungleich viel wirksamer zu sein.

Die Intensität der induzierten Radioaktivität erreicht schliesslich einen Grenzwert, der von der Natur des Gases im Aktivierungsgefäss unabhängig ist und lediglich der zur Aktivierung verwandten Radiummenge proportional erscheint. Auch das Gas im Aktivierungsraum wird radioaktiv und kann abgesaugt werden. War das aktivierende Radium in ein Gefäss eingeschlossen, so teilt sich seine Aktivität auch den Wänden desselben mit, sie werden selbst radioaktiv und können Fluorenszenz zeigen, ähnlich wie manche andere direkt aktivierte Stoffe (Baumwolle, Glas, Papier etc.). Spült man das Gefäss mit Wasser aus, so geht die Aktivität auch auf dieses Wasser über. Sie wird von Flüssigkeiten ähnlich wie gewöhnliche Gase absorbiert, vermag aber Körper ohne Poren nicht zu durchdringen.

Die induzierte Radioaktivitätsenergie verbreitet sich also vom Radium aus durch Leitung durch die umgebende Gashülle hindurch, und wir sind aus diesem Verhalten zu der Annahme berechtigt, dass sie in diesem Gas in einer besonderen Form enthalten sein müsse. Langsam, wie sie gekommen, verschwindet sie wieder. Sie vermag sich — und darin liegt ein prinzipieller Unterschied gegenüber der Selbststrahlung — im Gegensatz zu den Radiumstrahlen nicht wieder von selbst zu erzeugen: geht die induzierte Radioaktivität nach und nach verloren, so kann sie nur durch erneute Aktivierung mit Radium wieder erzeugt werden. Aus dem Aktivierungsgefäss herausgebracht, entaktiviert sich der aktivierte Körper. Seine Intensität sinkt an freier Luft in 28 Minuten beim Radium auf die Hälfte, in 11 Stunden beim Thorium, beim Aktinium in einer zwischen diesen beiden Werten liegenden Grenze, immerhin sind aber ihre Spuren auch nach Monatsfrist noch nachzuweisen. In einem geschlossenen Gefäss hält sie sich länger und die Entaktivierung geht daselbst langsamer vor sich; ihre Intensität sinkt beim Radium erst in ca. 4 Stunden auf die Hälfte.

Eine ähnliche Wirkung, wie sie die Radiumstrahlen als induzierte Radioaktivität bringen, kann auch durch Kathodenstrahlen nach sehr langer Einwirkung derselben beim Wismut erzeugt werden. Die dahin zielenden Versuche, die, falls sich das geschilderte Ergebnis bestätigen sollte, unserer Wissenschaft ganz neue Bahnen eröffneten, sind doch nicht eindeutig genug und noch so jung, dass aus ihren Resultaten ein definitiver Schluss bis heute noch nicht gezogen werden kann.

Die merkwürdige und bis jetzt einzig dastehende Tatsache der Mitteilung der Radioaktivität an ursprünglich inaktiven Substanzen und ihren wunderbaren Eigenschaften haben natürlich nach Erklärungsversuchen gerufen und

damit zugleich den verschiedensten Hypothesen. Die meisten Forscher akzeptieren wohl heute die Erklärungshypothese von Rutherford als die beste aller zurzeit existierenden, obwohl auch sie nicht alle Phänomene erschöpfend zu deuten vermag. Alle diese mit der gleich zu besprechenden sog. Emanation zusammenhängenden Erscheinungen sind so ausserordentlich komplizierter und vielseitiger Natur, dass nur derjenige sie in allen Teilen richtig zu verstehen vermag, der sich mit der ganzen Materie eingehend vertraut gemacht hat. Ich werde mich deshalb auch in diesem Abschnitt möglichster Kürze in meiner Darstellung befleissen und hauptsächlich diejenigen Verhältnisse vor ihnen entwickeln, die sich aus dem Zusammenhang leicht ableiten lassen oder als feststehende Tatsachen anerkannt worden sind.

Rutherford, ein namentlich auf dem Gebiet der Strahlenforschung berühmter Gelehrter, fand ähnliche Erscheinungen, wie die für das Radium geschilderte induzierte Radioaktivität, beim Thorium und Debierne beim Aktinium. Die Aktivierung verläuft beim Thorium und Aktinium in gleicher Weise und nach denselben Gesetzen wie beim Radium. Negativ elektrisch geladene Körper lassen sich nach Rutherford besser aktivieren als andere. Rutherford's Hypothese zufolge sondern alle Thoriumverbindungen (auf diese wurde die Hypothese zuerst angewandt), und unter ihnen das Oxyd in besonderer Menge, aktive Emanation aus, welche positiv elektrisch geladen ist und vom Luftstrom fortbewegt werden kann. Dasselbe geschieht nach der Annahme auch bei Radium und Aktinium. Wieder legen wir unserer Darstellung die Verhältnisse, wie sie bei Radium gefunden wurden, zugrunde; Thorium und Aktinium bieten im grossen und ganzen dieselben Resultate.

Radium, seine Salze und Lösungen sind die Quelle beständiger Emanationsabgabe. Emanation ist ein aus dem Radium, seinen Salzen und Lösungen konstant und spontan in unmessbaren Quantitäten sich entwickelndes, unsichtbares, positiv elektrisch geladenes, materielles, aber unbeständiges, radioaktives Gas, das sich im Luftraum verbreitet und die Fähigkeit besitzt, in demselben Raum oder seiner näheren Nachbarschaft befindlichen Körpern induzierte Radioaktivität zu verleihen, so dass dieselben ihrerseits zum Ausgangspunkt von Becquerelstrahlen werden können. Die Anwesenheit der Emanation zeigt sich an ihren elektrischen Wirkungen; sie selbst ist ja, wie die Gase im allgemeinen, unsichtbar. Dabei sendet sie noch α-Strahlen aus und macht sich dadurch auch durch ihr beträcht-

liches Ionisierungsvermögen bemerkbar. Als hauptsächlichste Eigenschaften der kontinuierlich aus dem Radium sich entwickelnden Emanation können wir etwa folgende nennen:

Die Emanation mischt sich nach und nach mit dem das aktivierende Präparat umgebenden Gas (Diffussionsfähigkeit). Sie diffundiert auch durch enge Kapillaren und folgt den Gesetzen für die Diffusion der Gase. Ihr Diffusionskoëffizient hat einen ähnlichen Wert wie derjenige der Kohlensäure; aus ihm berechnet ergäbe sich für die Emanation ein Atomgewicht, wenn man von einem solchen sprechen darf, das zwischen 100 und 160 liegt. Ihre Ausströmungsgeschwindigkeit ist der in dem Aktivierungsgefäss vorhandenen Menge des aktivierenden Salzes direkt proportional, desgleichen der Weite des Ausströmungsrohres und umgekehrt proportional der Länge desselben. Was die Menge der ausströmenden Emanation anbetrifft, so ist anzuführen, dass das Verhältnis derselben zu dem sie produzierenden Radiumsalz bestimmt wurde. Man hat dabei gefunden, dass pro Jahr etwas weniger als der tausendste Teil des betr. Radiums sich in Emanation verwandelt und hat daraus berechnen wollen, dass die Lebensdauer des Radiumatoms auf 1000 bis 1100 Jahre anzusetzen sei. Die Rechnung ist selbstverständlich nicht mathematisch genau, sondern nur schätzungsweise. Es ergibt sich das offensichtlich schon daraus, dass andere Berechnungen dem Radium 3000 Jahre und noch mehr Lebensdauer zusprechen! Das Emanationsgas wird als aus einzelnen Teilchen bestehend angenommen, die man gelegentlich auch als Emanationskörperchen zu bezeichnen pflegt. Man betrachtet dieselben als Träger eigener positiv-elektrischer Ladung oder lässt sie um ein mit positiver Elektrizität geladenes Ion sich gruppieren.

Eine weitere wichtige Eigenschaft eines Gases ist die Möglichkeit, dasselbe zu kondensieren und gerade die Kondensationsmöglichkeit der Emanation wird als Beweis für ihren materiellen Gas-Charakter angeführt. Ramsay hat uns gelehrt, die Emanation zu verdichten, und zwar gelingt das bei der Temperatur der flüssigen Luft. Die Kondensationstemperatur der Radiumemanation liegt bei —150°; für die Thoriumemanation wurde sie zu —120 bis 150° berechnet. In einem Kühlrohr kondensiert, kann die Emanation gewissermassen »festgehalten« werden, ohne sich mit dem übrigen Gasinhalt zu vermischen und es sind in diesem kondensierten Zustand ihre Eigenschaften, wenn wir uns dieses Ausdruckes bedienen dürfen, gewissermassen »eingefroren«, sie bleiben latent. Beim »Auftauen«

der Emanation, beim Zurückbringen des sie enthaltenden Rohres in gewöhnliche Temperatur kehren ihre Eigenschaften wieder.

Ihre chemische Inaktivität ergibt sich aus der Unmöglichkeit, mit der Emanation bis jetzt chemische Reaktionen zu erzielen. Die Einwirkung des Induktionsfunkens vermag ihren Charakter nicht zu verändern; sie widersteht der Wirkung von Sauerstoff und Alkali, desgleichen einer überhitzten Mischung von Kalk und Magnesiumpulver; Leitung über rotglühendes Platin vermag keinerlei Veränderung in ihr hervorzurufen.

Die Emanation folgt dem allgemeinen Gesetz, das Gay-Lussac für die Gase aufgestellt hat, wonach sich Gase bei gleichen Temperaturzunahmen gleich stark ausdehnen.

Der Gasdruck der Emanation liess sich bis zur Stunde noch nicht bestimmen. Leiten wir sie in ein luftleeres Gefäss, so vermögen selbst die empfindlichsten Druckmessapparate keine Veränderung des Innendruckes zu registrieren. Das wäre allerdings ein Punkt, der mit der Gastheorie nicht stimmt! Vielleicht bringen weitere Untersuchungen Aufschluss.

Die Emanation erklärt uns auch ein wichtiges Vorkommnis, dessen wir bei früherer Gelegenheit Erwähnung getan haben. Die Radioaktivität frisch bereiteter Präparate nimmt zu. Die Rutherfordsche Emanationshypothese gibt uns dafür eine Lösung, die wir uns folgendermassen zurechtlegen können. Unaufhörlich entströmt Emanation dem Salz, und zwar gleich nach seiner Darstellung. Die ersten Partien derselben werden im Salz selbst okkludiert, zurückgehalten, gelangen also nicht in die Aussenwelt. Die dadurch hervorgerufene induzierte Radioaktivität vergrössert den Aktivitätsgehalt des Salzes. Damit konstante Aktivität, also eine Art Grenzwert, eintreten und stationär bleiben kann, muss die Menge der pro Zeiteinheit neugebildeten Emanation so gross sein, um den in derselben Zeit verschwindenden Teil zu ergänzen oder zu ersetzen. Wir erinnern uns ferner, vernommen zu haben, dass die Radiumstrahlung bei längerem Erhitzen auf höhere Temperaturen an Kraft abnimmt. Auch das erklärt uns die Emanation: durch dieses Erhitzen wird die im Präparat okkludierte Emanation ausgetrieben und das Salz büsst an Aktivität ein. Dieser Verlust ist proportional der Dauer der Einwirkung der Erhitzung. Nach und nach wird nun, unter Mitwirkung der induzierten Radioaktivität, der erwähnte Gleichgewichtszustand zwischen Emanationsproduktion und -abgabe erreicht. Der durch die Erhitzung eintretende Aktivitätsverlust durch Austreiben der Emanation ist natürlich um so stärker, je länger die Erhitzung einwirkt

und je höher zugleich ihre Temperatur ist. Die absorbierbaren Strahlen leiden weniger unter ihrer Einwirkung als die durchdringenden, welche nach langer, intensiver Erwärmung für längere Zeit überhaupt nicht mehr existieren. Erst nach Verbringen des Präparates in gewöhnliche Temperaturverhältnisse kehrt nach einiger Zeit die Aktivität zurück.

Elster und Geitel stellten die weite Verbreitung radioaktiver Körper in der Natur fest: sie finden sich in der Luft, im Boden, in den Niederschlägen, besonders im Schnee, in den Quellen, besonders in den mineralischen Heilquellen. In den tieferen Schichten der Erde scheinen radioaktive Körper aufgespeichert zu sein, deren Emanation ganz allmählich die Erdrinde zu durchdringen vermag. Wie die Luft des Bodens, also ist auch die Luft in tiefen Kellern und Höhlen (Grotte von Capri!) radioaktiv, ebenso die Luft auf hohen Bergen; die Leitfähigkeit der Luft ist daselbst auffällig hoch und viele Forscher wollen in dem gesteigerten Aktivitätsgehalt der Bergluft die Ursache der sog. Bergkrankheit erblicken. Mit dieser Anschauung wäre wohl auch die Beobachtung ganz gut vereinbar, dass gerade bei klarer Luft, deren Radioaktivität besonders stark ist, die Bergkrankheit viel eher und zugleich stärker auftritt, als bei bewölktem Himmel und trübem Wetter, bei welchem dieselbe Luft erheblich ärmer an Emanation ist. In der Luft auf der Ebene und am Meeresstrand zeigt sich keine Emanation, desgleichen nicht in Fluss- und Meerwasser. Die Wirkung der Heilquellen, bei welchen der »Brunnengeist« der Alten eine wesentliche Rolle spielte, wird neuerdings auf ihren Gehalt an Radium resp. Emanation zurückgeführt (Danne). Es wurden die bedeutenderen Quellen auf ihren möglichen Gehalt an radioaktiven Substanzen untersucht, welche tatsächlich zum Teil in relativ grossen Mengen nachgewiesen werden konnten. Das erklärt uns auch die längst bekannte Tatsache, warum die Mineralquellen, an Ort und Stelle ihrer Entstehung getrunken, bessere Heilresultate ergeben (ganz abgesehen natürlich von den oft in verschiedenem Sinne wohltätigen Folgen einer Ortsveränderung etc.), als das in Flaschen abgezogene und versandte Wasser derselben Provenienz oder gar die künstlich dargestellten Substitutionsprodukte. Nach kürzerer oder längerer Zeit büsst das auf Flaschen gefüllte Wasser seine Heilkraft teilweise ein: das rührt u. a. her von einer allmählichen Abnahme — bis zum gänzlichen Verschwinden — des so wie so schon geringen Emanationsquantums. In ähnlicher Weise werden die unbestreitbar wohltätigen Wirkungen des Höhenklimas durch seinen relativ gesteigerten Emanationsgehalt zu erklären versucht.

Ramsay und Soddy gelang es neuerdings, im Spektrum der aus dem Radium entstandenen Gase einige Linien aufzufinden, die nach ihrer Meinung für die Emanation charakteristisch sein könnten. Diesem Befund ist widersprochen und das Spektrum der Emanation als ganz demjenigen ähnlich bezeichnet worden, welches einzelne Gase der Argonfamilie produzieren. Ramsay ist der Entdecker dieser gelegentlich auch als Edelgase bezeichneten seltenen Elemente, zu welchen Argon und Helium gehören. Die Emanation, so ist die verbreitetste Ansicht, besitzt kein für sie als solche charakteristisches Spektrum und allseitig ist anerkannt, dass in demselben ganz besonders keine Heliumlinien sich zeigen. Lässt man aber die Emanation, in einem Glasrohr z. B., 4—5 Tage stehen, so zeigt sich bei der spektroskopischen Prüfung, die uns ja den Nachweis von Materie in ungeheuer kleiner Menge noch zu liefern gestattet, eine grosse Ueberraschung: es treten einige besonders charakteristische Linien auf, unter welchen ganz besonders die merkwürdige gelbe Linie D_3 des Heliums sich bemerkbar macht, die im Laufe der nächsten Tage an Stärke und Deutlichkeit sogar noch zunehmen. Wieder stehen wir vor einem neuen Rätsel: die radioaktive Emanation hat sich in Helium verwandelt, von welchem vorher keine Spur vorhanden gewesen war! Rekapitulieren wir ihren Werdegang. Das Radiumatom zerfällt teilweise. Eines der Produkte dieses Zerfalles ist die Emanation. Unbeständig, wie sie ist, zerfällt sie ihrerseits wieder und eines der Endprodukte dieses Zerfalls, dieser spontanen Desaggregation, ist das Helium, welches für sich aufgefangen und untersucht werden kann. Wir sind somit auf einem merkwürdigen Wendepunkt angelangt und unwillkürlich erinnern wir uns und gedenken des berüchtigten Treibens der Alchemisten in den mittelalterlichen Schilderungen, denen der feste Glaube an die Möglichkeit innewohnte, edle aus unedlen Metallen herzustellen, ein unedles Element in ein kostbares, beispielsweise in Gold, verwandeln zu können. Aber dieser Stein der Weisen, das grosse Elixir oder das grosse Magisterium, mit dessen Hilfe die Metallverwandlung vor sich gehen sollte, besass noch eine zugleich höhere und begehrtere Wunderkraft: dem Menschen Gesundheit und langes Leben zu verleihen, er war zugleich die Panacee, die grosse Universalmedizin. Schade, dass sie nicht auf unsere Zeit gekommen ist.

Wenn wir uns hernach unterhalten wollen über die heute geltenden, auf Grundlage der Radiumforschung teilweise umgeänderten Anschauungen über das Wesen der Materie und verwandte Fragen, wenn wir ferner gedenken der scheinbar spontanen Umwandlung der Radiumemanation

in Helium, so müssen wir uns gestehen, dass wir vor naturwissenschaftlichen Errungenschaften von ungeheurer, noch gar nicht einzusehender Tragweite stehen. Gerade das grundlegende Experiment der Emanationsumwandlung in Helium ist bei stets gleichbleibendem Resultat der Versuche unzählige Male wiederholt worden. Allerdings ist der Vollständigkeit halber anzuführen, dass das Helium, welches schon lange als Bestandteil der Photosphäre unserer Sonne bekannt ist, in den Uran und Thor enthaltenden Mineralien sich findet und durch Erhitzen aus ihnen dargestellt werden kann, denselben Stoffen, die auch als Ausgangspunkt für die Radiumdarstellung dienen. Es könnte also die Vermutung auftauchen, dass das Helium durch alle die vielen zur Herstellung der radioaktiven Substanzen nötigen Prozesse und eingreifenden chemischen Operationen bis zum Radium und seiner Emanation gewissermassen als Verunreinigung zurückgeblieben sei. Aber es erscheint das doch als eiu Ding der Unmöglichkeit und ausserdem läge auf den Untersuchern das Odium des Mangels an Sorgfalt und Vorsicht, etwas, das man einem Experimentator wie Ramsay sicherlich nicht zumuten wird. Aber davon ganz abgesehen, sind doch noch verschiedene Einwände gegen die Elementumwandlung und die daraus gezogenen Schlüsse, welche die fundamentalsten Wahrheiten der Chemie umzustürzen drohen, erhoben worden, und solange dieselben nicht widerlegt und beseitigt sind, haben wir auch noch keine begründete Ursache, »an den alten Wahrheiten Anstoss zu nehmen«.

Uran und Polonium sind nicht imstande, in einem geschlossenen Gefäss induzierte Radioaktivität zu erzeugen. Beide entwickeln wohl Becquerel-Strahlen, produzieren aber, nach den bisherigen Erfahrungen, keine Emanation.

Ich schlage Ihnen vor, erst noch das Referat über die physiologischen Wirkungen und die therapeutische Anwendung der Selbststrahlung folgen zu lassen, um sodann, als Schluss, eine zusammenhängende Darstellung des eigentlichen Wesens und der wahrscheinlichen Ursache der geschilderten, wunderbaren Erscheinungen folgen zu lassen, den interessantesten und zugleich auch schwierigsten Teil unseres Vortrages.

* * *

Einwirkung der Radiumstrahlung auf Tiere und tierische Produkte, Mikroorganismen, Pflanzen, Organe und Gewebe des menschlichen Körpers, Wirkungen der Emanation.

Wenn wir uns nun im folgenden über die physiologischen Wirkungen der Radiumstrahlung und ihrer Emanation unterhalten wollen, so ist zum vornherein zu

bemerken, dass, wenn auch die Gelehrten über die Tatsächlichkeit der diesbezüglichen Effekte des Radiums einig sind, so doch noch in manchen Gebieten über die Art und Weise Zweifel herrschen, die erst weitere Untersuchungen heben müssen. Betrachten wir nun der Reihe nach den Einfluss der Becquerel-Strahlung auf Tiere, tierische Produkte, Pflanzen und entsprechend auf die Verhältnisse, wie sie am menschlichen Körper sich zeigen, suchen wir uns sodann ein Bild zu verschaffen über die Indikationsstellung derselben zu Heilzwecken in der Medizin und prüfen wir endlich die Erfolge, welche das neue Verfahren aufzuweisen hat.

Die Radiumstrahlen vermögen am tierischen Körper eine völlige Zerstörung der Haut herbeizuführen. Ihre Wirkung geht aber nicht sehr tief: auf das in der Tiefe unter der Haut gelegene Bindegewebe und die Muskulatur reicht sie nicht. Auch die inneren Organe und die serösen Häute sind wenig empfänglich: in die Bauchhöhle von Tieren eingebrachte Radiumpräparate vermögen ihnen kaum etwas anzuhaben. Ganz anders dagegen ist die Wirkung auf die nervösen Zentralorgane von Tieren, das Gehirn und Rückenmark, welche durch die Radiumeinwirkung in besonderem Masse geschädigt werden. Wird über dem Schädel oder längs der Wirbelsäule kleiner Tiere Radium für einige Zeit appliziert, so zeigen sich als Folgen seiner Einwirkung Erscheinungen von Lähmung, Konvulsionen, Ataxie, die unter Umständen gar den Tod herbeiführen können, dem zerebrale Erscheinungen vorausgehen. Jüngere Tiere sind mehr gefährdet als ältere, bei welchen die Knochendecke erheblichen Schutz gewährt. Die Bestrahlung 8tägiger Krötenembryonen mit Radium lieferte fast durchgängig monströse Gebilde, die sich nur für relativ kurze Zeit lebensfähig erwiesen. Frühere Bestrahlungen, vor dem 8. Tage des embryonalen Stadiums, produzierten zunächst nichts Auffälliges; erst mit der fortschreitenden Entwicklung traten die Missbildungen auf. Wir ersehen daraus, dass unter Umständen radiumbestrahlte Organe und Organteile latente Eigenschaften annehmen können, die erst nach einiger Zeit des Verborgenseins, mit der zunehmenden Entwicklung der normalen Gewebe, sich äussern: Radium verändert das tierische Gewebe im Wachstum.

Fassen wir resümierend die Verhältnisse zusammen, wie sie sich nach Bestrahlungen bei Meerschweinchen ergeben. 24stündige Radiumbestrahlung zerstört nach einer Latenzperiode, welche zwischen 8 und 20 Tagen schwanken kann, die Haut vollständig. Das subkutane Bindegewebe und die Muskulatur werden nur wenig ergriffen, ebenso bleiben der Darm und die serösen Häute sozusagen

unbeeinflusst. Am empfindlichsten sind die nervösen Zentren. Schon schwache Bestrahlungen von Gehirn und Rückenmark bei jungen Meerschweinchen verursachen Zuckungen, Krampfe, Lähmungen der Beine; längere Bestrahlungen wirken tödlich. Aeltere Tiere verspüren von mässigen Bestrahlungen nur geringe deletäre Wirkungen.

Bestrahlungen von Gehirn und Rückenmark bei jungen Mäusen bringt ihnen schon nach ca. 18 Stunden den Tod. Ganz allgemein hat die Erfahrung gelehrt, dass die Strahlung auf Tiere um so eingreifender und deletärer wirkt, je jünger sie sind, je weniger widerstandsfähig also ihr Körper. In ganz leichten Fällen von Bestrahlung resultieren einfach Haarausfall und geringe Entzündung der Haut, stärkere führen zu Lähmungen und anderen schweren nervösen Störungen, die nach kürzerer oder längerer Zeit vom Tod gefolgt sein können.

Einzelne Organe von Tieren wurden noch besonders bestrahlt, um aus den erhaltenen Resultaten eventuelle Schlüsse für die therapeutische Anwendung am menschlichen Körper ziehen zu können. Bestrahlungen der Kaninchenniere bewirkten Zerstörungen der Epithelien, des Stützgewebes und der Kapillaren. An der Tierleber vermochten die Radiumstrahlen ebensowenig wie die Röntgenstrahlen makro- oder mikroskopische Veränderungen zu erzielen.

An den Hoden treten nach Bestrahlungen mit Radium- oder mit Röntgenstrahlen Degenerationsprozesse auf, die zu Azoospermie und völliger Atrophie führen können. Radium bewirkt diesen Zustand schneller als Röntgenstrahlen.

Die Wirkung der Radiumstrahlen auf die Milz und das lymphoide Gewebe wird als derjenigen der Röntgenstrahlen ähnlich angegeben (im allgemeinen: Rarefizierung der zelligen Elemente der Milzpulpa).

Im Tierblut bewirkt die Radiumstrahlung Umwandlung des Oxyhämoglobins in Methämoglobin; die Anzahl der weissen Blutkörperchen wird unter ihrer Einwirkung vermindert.

Tierische Fermente, z. B. Trypsin, werden nach längerer Bestrahlung inaktiv.

Die Radiumstrahlung vermag auch auf das Auge einzuwirken; durch einen einfachen Versuch können wir uns leicht davon überzeugen. Halten wir im Dunkeln eine Kapsel mit Radium in die Nähe des geschlossenen Auges, so ruft dasselbe eine Helligkeitsempfindung hervor. Unter der Einwirkung der Strahlung fluoreszieren die Augenmedien. Die Quelle der Lichtempfindung liegt im Auge selbst. Blinde, die noch Lichtempfindung besitzen, sehen die Umrisse eines Gegenstandes, dessen Schatten durch Radium auf einen Schirm projiziert wurde. Einige Forscher

glaubten nun, sie vermöchten Blinde wieder sehend zu machen, indem sie mittelst Radiumstrahlen deren Netzhaut zur Fluoreszenz veranlassten. Die grosse Freude, welche diese Nachricht bei vielen Blinden hervorrief, war aber leider nur von kurzer Dauer. Die Untersuchung ergab, dass die Radiumstrahlen, welche ja keine dem Licht homologe Strahlen darstellen, keiner Brechung fähig sind und deswegen ausserstande, nach Art der gewöhnlichen Lichtstrahlung auf der Netzhaut zu einem Bild vereinigt werden zu können. Auch der letzte Trost fiel dahin, als man die Unmöglichkeit erkannte, die Lichtempfindlichkeit der Netzhaut unter dem Einfluss der Fluoreszenz erregenden Strahlung zu steigern. Wenn nun Blinde, die noch Lichtempfindung besitzen, von der neuen Strahlung nichts zu hoffen haben, wieviel weniger noch jene Unglücklichsten, bei welchen durch unheilbare Krankheitsprozesse die Licht perzipierenden Teile, Netzhaut und Sehnerv, zerstört sind.

Der Einfluss der Radiumstrahlen auf die einzelnen Teile des Auges wird verschieden angegeben. Während einzelne Forscher, ausser oberflächlichen Ulzerationen, keine erheblichen Schädigungen gesehen haben wollen, empfehlen andere die grösste Vorsicht bei Radiumanwendungen in der Nähe des Auges. Die differierenden Angaben erklären sich offenbar u. a. auch aus dem verschiedenen Aktivitätsgehalt der angewandten Radiumpräparate. Als Resultat seiner diesbezüglichen Untersuchungen erwähnt Birch-Hirschfeld, die Radiumstrahlung wirke ähnlich auf das Auge wie die Röntgenstrahlen. Als Folgezustände beschreibt er Ausfall der Wimpern, entzündliche Reizung und geschwürige Prozesse der Bindehaut und entzündliche Prozesse im Innern des Auges (Kerato-Iritis; vakuolarisierende Degeneration der Gefässintima in der Iris, im Corpus ciliare und der Retina; Degeneration der Ganglienzellen der Netzhaut etc.).

Die Wirkungen auf das Nervensystem haben wir z. T. schon gestreift. Radiumbestrahlungen weisser Mäuse mit 10—50 mg Radium produzierten Reizungs- und Lähmungserscheinungen, denen bei schwacher Einwirkung nach 3—5 Wochen, nach stärkerer Einwirkung in wenigen Tagen der Tod folgte. Histologische Untersuchungen des Nervensystems der verendeten Tiere ergaben Hyperämie des Gehirns und seiner Häute, ebenso des Rückenmarkes; in allen Teilen des Zentralnervensystems ausgedehnte Blutungen, die stellenweise zu schweren Zerstörungen geführt hatten; Rundzelleninfiltration der Hirnhäute. Die Nervenzellen erschienen häufig unverändert, wiesen aber doch manchmal intrazelluläre Veränderungen auf; die Nervenfasern erschienen annähernd normal. Die Epithelien der Spinalganglienzellenkapsel und der Gefässendothelien zeigen

Verfettungen; im Blut wurden gelegentlich fetthaltige Rundzellen angetroffen. Die peripheren Nerven zeigten keinerlei Veränderungen. In den Muskeln fanden sich fettige Entartung einzelner Fasern und kleinere Blutungen (Obersteiner). Bestrahlungen einzelner Nerven oder Nervenstämme bei Tieren haben keinen sichtbaren Erfolg: es liessen sich in den auf die Bestrahlung folgenden Wochen weder motorische noch sensible Störungen nachweisen.

Die Wirkung der Radiumstrahlung auf periphere Nerven des menschlichen Körpers scheint bei einer ganzen Reihe schmerzhafter Affektionen, besonders Neuralgien, recht günstig sich zu gestalten. Wir werden uns später darüber eingehender unterrichten.

Als beliebtes Objekt aus dem Tierreich bei Radiumforschungen werden die Eier des Pferdespulwurmes (Ascaris megalocephala) benutzt. Werden die befruchteten Eier desselben vor dem Furchungsstadium der Becquerel-Strahlung ausgesetzt, so beginnen sie ihre Teilung, die langsamer als normal verläuft, später als die nichtbestrahlten Kontrollexemplare. Eier von gewissen Echinodermen werden leichter befruchtet, nachdem sie der Radiumstrahlung exponiert waren; es kann Parthenogenesis eintreten.

Unter der Strahlenwirkung wird, bei intakter Schale, bei Hühnereiern das Lecithin, das in der Zellsubstanz in reichlicher Menge enthalten ist, angegriffen. Auf diesen Befund kommen wir später noch zu sprechen.

Opalina ranarum ist ein Beispiel für die inzitativen Wirkungen des Radiums. In ungünstigem Medium (Wasser) lebt dieses Protozoon nach Radiumbestrahlung noch eine Zeit lang weiter, während nichtbestrahlte Tiere rascher absterben.

Protozoen ziehen ihre Cilien ein oder suchen sich möglichst rasch aus dem Bereiche der Strahlung zu befreien.

Insektenlarven wurden durch die Radiumstrahlung in wenigen Tagen abgetötet.

Gross angelegte Versuche über die Wirkung des Radiums auf embryonale und regenerative Entwicklungsvorgänge ergaben vermindertes Wachstum bei Kaulquappen und Schrumpfung der ausschlüpfenden Larven mit Degenerationserscheinungen. Heilungs- und Regenerationsvorgänge werden verlangsamt; bei Schwanzamputationen (Amphibien) verzögerte sich bei bestrahlten Tieren die Neubildung desselben, während er bei unbestrahlten Kontrolltieren erheblich rascher nachwuchs.

Das Studium der Einwirkung der Strahlung auf das Wachstum der mikrobischen Krankheitserreger ist von praktischer Wichtigkeit. Wir können ganz allgemein sagen, dass die Becquerel-Strahlung und zum Teil auch ihre Emanation imstande ist, die genannten Mikroorganismen in ihrem

Wachstum zu hemmen und einzelne wenige zu töten, und zwar macht sich diese Wirkung schon in einiger Entfernung geltend.[1]) In bezug auf ihre bakterientötende Kraft scheinen die Radiumstrahlen den Röntgenstrahlen überlegen zu sein. Aber diese Eigenschaft kommt nicht allen Strahlungsqualitäten des Radiums zu, im besonderen Masse besitzen sie die α-Strahlen. Die Kolonien des Micrococcus prodigiosus, dessen Entwicklung unter intensiv roter Färbung vor sich geht, werden durch die α-Strahlung zerstört, während die β-Strahlen ihnen nichts anzuhaben vermögen. Der Milzbrandbazillus kann vernichtet werden; Hemmung des Wachstums tritt bei Cholera- und Typhusbazillen ein; letztere sterben unter Umständen ab. Die Vaccinekeime werden in 22 Stunden abgetötet, desgleichen die Erreger der Tollwut. Die abgetöteten Mikroorganismen können bei genügend langer Bestrahlung selbst radioaktiv werden (Nachweis durch Schwärzung der photographischen Platte), eine Eigenschaft, die bei lebenden Bakterien noch nicht nachgewiesen werden konnte. Leuchtbakterien produzieren als Zeichen ihrer Lebenstätigkeit Phosphoreszenz. Unter der Einwirkung der Strahlung wird diese Eigenschaft aufgehoben. Die agglutinierende Wirkung des Blutserums Typhuskranker sistiert unter Radiumeinwirkung.

An Pflanzen angestellte Versuche ergaben als allgemeines Resultat, dass das Wachstum pflanzlicher Samen unter dem Einfluss der Radium- (wie auch der Röntgen-) Strahlen nach anfänglicher Beschleunigung eine starke Hemmung erfährt. Das Wachstum keimender und bestrahlter Bohnen wird erheblich verlangsamt. Einzelne Samenkörner können derart beeinflusst werden, dass ihre Keimkraft überhaupt erloschen ist. Nach 18tägiger Exposition von Kressensamen und weissen Senfkörnern keimten dieselben überhaupt nach dem Pflanzen nicht mehr, während von den nichtbestrahlten 80 Proz. keimten. Auch das Wachstum der Pilze wird auf dieselbe Weise behindert. Der Wirkung der Radiumstrahlung ausgesetzte Pflanzenblätter werden gelb und sterben ab, daneben scheint die Strahlung auf höhere Pflanzen keinen nennenswerten Effekt ausüben zu können.

Radiumanwendung zu Heilzwecken. Was ich Ihnen hier vorzeige, ist die für eine Radiumbestrahlung der Haut nötige Vorrichtung. In einer Hartgummikapsel mit Messingdeckel, in welcher als dichter, aber doch für die Strahlung durchlässiger Verschluss ein Glimmerblättchen eingefügt ist, befindet sich das Radiumpräparat,

---

[1]) Die keimtötende Kraft nimmt mit vergrösserter Entfernung ab, ebenso, wenn zwischen Objekt und Strahlungsquelle Metallplatten gelegt werden.

in diesem Fall chemisch reines Radiumbromid, vielleicht noch mit Spuren von Baryum. Die Glimmerseite der Haut zugekehrt, wird sie auf die zu bestrahlende Hautpartie mittelst Heftpflasterstreifen aufgelegt. Zwischen Haut und Kapsel kann nötigenfalls, ohne nennenswerte Einbusse der Strahlenwirkung, ein Stückchen Guttaperchapapier eingeschoben werden. Zur Radiumanwendung an verschiedenen, weniger gut zugänglichen Stellen zeige ich Ihnen verschiedene Armaturen: in Form einer flexiblen Gummisonde für Hals, Kehlkopf, Speiseröhre und Magen; als besonders konstruierter rohrförmiger Behälter für Körperöffnungen, Höhlen etc.; in Gestalt verschiedener Röhrenbehälter für Anwendungen im Munde. Radium in Substanz wird gelegentlich in Geschwülste eingebracht oder in Lösung resp. radioaktivierten Flüssigkeiten eingespritzt; auch zur Verwendung in Salbenform wird es empfohlen, wobei aber dringend vor Anschaffung der mit schwindelhafter Reklame in den Zeitungen angepriesenen Präparate gewarnt werden soll!

Was entsteht nun nach der Bestrahlung als direkte Folge der Einwirkung der Radiumstrahlen auf die Haut? Bringt man auf die Haut für bestimmte Zeit die beschriebene, das Radiumsalz enthaltende Kapsel, so spürt man während ihres Aufliegens nichts: Schmerzempfindung ist mit der Prozedur nicht verbunden. Erst nach Verfluss einer sogen. Latenzzeit von 10—20 Tagen beginnt an der Stelle der Radiumeinwirkung eine Hautentzündung, die unter dem Bild einer reaktiven Dermatitis acuta verläuft. Die zwischen der Radiumanwendung und dem Ausbruch der ersten Erscheinungen der sogen. Radium-Dermatitis liegende Latenzperiode ist kürzer oder länger je nach der Valenz des angewendeten Präparates (bezogen auf die Aktivität des reinen metallischen Urans als Einheit); sie ist direkt proportional der Dauer der Bestrahlung und steht in geradem Verhältnis zur Höhe und Dauer der Reaktion. Die durch Radium produzierten Veränderungen der Haut gleichen, annähernd analog den Wirkungen der Röntgenstrahlen, einer gewöhnlichen Verbrennung, und können nach ihrem Aussehen und den zugrunde liegenden pathologisch-anatomischen Veränderungen zweckmässig in drei Gruppen eingeteilt werden: 1. Grad: Auftreten eines roten Fleckes, Erythem, an der Stelle der Radiumeinwirkung; Rötung, Schwellung (lokale Hyperämie), Schmerzhaftigkeit, örtliche Temperatursteigerung; Ausfallen der Haare an behaarten Stellen. Dieser erste Grad bildet sich zur Norm, zum status quo ante, zurück; er hinterlässt keine Spuren oder Folgen und tritt nach kurzen Bestrahlungen von ca. 5 Minuten — ähnlich wie nach Bestrahlung mit Röntgenstrahlen — und nach einer Latenzperiode von 2—3 Wochen ein. Der 2. Grad

der Radiumverbrennung, nach ca. 1/4stündiger Applikationsdauer, ist charakterisiert durch das Auftreten einer Hautentzündung mit Abschürfungen (Exkoriationen) und Blasenbildung. Die gerötete Stelle hebt sich leicht vom Niveau der Haut und stösst sich allmählich ab oder wandelt sich um zu umschriebenen, mit seröser Flüssigkeit gefüllten Bläschen, die nachher eintrocknen und abfallen; die Haut an dieser Stelle atrophiert. Bestrahlen wir ca. 1/2 Stunde oder länger, so resultiert daraus nach symptomlosem Verlauf der ca. 2wöchentlichen Latenzzeit der 3. Grad: Mortifikation und Nekrose des bestrahlten Gewebes bis ins Unterhautzellgewebe hinein. Kleine, vereinzelte Wunden treten auf, vergrössern sich und bilden, zusammenfliessend, ein unter Umständen völlig schmerzloses Geschwür, Radium-Ulkus, entsprechend dem Röntgen-Ulkus, welches rötliche Wundflüssigkeit absondert und sich durch seine ungemein geringe Heilungstendenz auszeichnet. Erst nach mehreren Monaten pflegt es unter Hinterlassung glatter, weicher, weisser Narben sich zu schliessen. Radiumwunden infizieren sich viel schwieriger als gewöhnliche Verletzungen.

Die Wirkungen des Radiums vollziehen sich sogar, wie diejenigen der Röntgenstrahlen, durch feste Körper (Metallfolien etc.) hindurch, sie werden aber durch Interposition derselben merklich schwächer.

Die Untersuchungen ergaben, dass allen Gewebsteilen ähnliche Resorptionskraft den Strahlen gegenüber innewohnt; es wird also die Menge der angewandten Strahlen beim Passieren der obersten Hautschichten einen erheblichen Teil einbüssen und mit dem weiteren Eindringen in die Tiefe stetig abnehmen. Was geschieht nun aber mit der von den Geweben absorbierten Strahlung? Den Arbeiten von Holzknecht, Exner und anderen Autoren zufolge erfährt die Strahlung nach ihrer Absorption in den Geweben eine Energieumwandlung chemisch-physikalischer Natur, welche dissoziative Wirkungen auszuüben vermag. Sie ist auch die Ursache der nekrobiotischen Zellerkrankung, welche sich im mikroskopischen Bild als degenerative Zellerkrankung, Vakuolarisation bis zum völligen Zerfall der Zellen, darstellt. Die eigentliche biologische Wirkung der Becquerel-Strahlung scheint in letzter Instanz, den Untersuchungen Werners zufolge, in der Zersetzung des Lecithins der Zellen zu liegen, in der Hauptsache also in einer Intoxikation mit den Zersetzungsprodukten des Lecithins zu bestehen. Der Ausfall der anatomisch-histologischen Untersuchungen der durch die Radiumstrahlung veränderten Haut gibt uns für die Möglichkeit ihrer Anwendung zu Heilzwecken wichtige Anhaltspunkte, auf die wir zuweilen später im speziellen eintreten können. Die Strahlung greift

besonders die Zellen an, die Blutgefässe und die Mikroben. Wir können auf Grund dieser Ergebnisse überall da die Radiumstrahlen als Heilfaktor anwenden, wo es gilt, auf wuchernde Zellneubildungen und infektiöse Prozesse einzuwirken. Die relativ erhebliche Tiefenwirkung des Radiums, die grösser ist als diejenige der Röntgenstrahlen, erlaubt uns, denjenigen Teil der Strahlung, der nicht schon von den oberflächlichen Schichten aufgenommen wird, nach Passieren derselben seine Wirkung in der Tiefe der Haut entfalten zu lassen, immerhin natürlich unter peinlicher Anwendung aller derjenigen Vorsichtsmassregeln, welche uns eine Zerstörung der Haut, wo es nötig erscheint, vermeiden lassen. Die Haut selbst setzt dem Durchgang der Strahlung verschiedenen Widerstand entgegen. Werner hat gefunden, dass die normale Haut gegen ihre Einwirkung um so widerstandsfähiger ist, je dichter und zugleich kräftiger die Haare entwickelt sind, je spärlicher an Zellen die Drüsen der Haut, je grobfasiger und kleinkerniger die Epithelien, je zwischensubstanzreicher das Bindegewebe und je reicher an Fettgehalt das Unterhautzellgewebe. Die Haut ist andererseits gegen die Strahlenwirkung um so empfindlicher, je zahlreicher die sie durchziehenden Blutgefässe (Kapillaren), je reicher ihr Gehalt an Lymphgefässen, je grösser ihr Mangel an Elastizität, je geringer ihre Abhebbarkeit oder, mit anderen Worten, je straffer ihre Spannung.

Eines Unterschiedes zwischen Röntgen- und Radiumbestrahlung müssen wir noch gedenken, auf den besonders Scholtz aufmerksam gemacht hat. Nach Röntgenbestrahlungen tritt an der bestrahlten Stelle (ausser der Spätreaktion) gelegentlich schon nach 24 Stunden, also lange bevor die in 2—3 Wochen erscheinende spezifische Wirkung einsetzt, eine nach 4—6 Tagen, oft unter Hinterlassung bräunlicher Pigmentierung, verschwindende kurze Frühreaktion auf in Gestalt einer Hautrötung, eines Erythems. Diese Vorreaktion, die bei Radiumbestrahlungen bis jetzt noch nicht beschrieben wurde, hängt aber wahrscheinlich mit den Röntgenstrahlen nicht zusammen, scheint vielmehr durch andere Faktoren bedingt zu sein.

Die Behandlung mittelst Radium ist einfach, bequem und mannigfaltig: auf der äusseren Haut, diversen Schleimhäuten, in verschiedenen Körperhöhlen, im Innern des Körpers: Mund, Nase, Rachen, Kehlkopf, Speiseröhre, Magen, Darm etc., kann es in gleicher Weise wirksam zur Verwendung kommen. Der relativ rasche Eintritt der Reaktion erleichtert seine Dosierung. Trotz seiner Tiefenwirkung ist die Applikation nicht schmerzhaft und lässt nur selten entstellende Narben zurück. Als »Desinfektionsmittel«

wird Radium kaum Verwendung finden können, wenn ihm auch relativ erhebliche germizide Kraft innewohnt: sein Anschaffungspreis ist viel zu gross und zudem ist es bis zur Stunde noch nicht gelungen, infizierte Wunden durch die Einwirkung der Becquerel-Strahlung zu desinfizieren. Die äusserst grosse Penetrationskraft des Radiums legt uns bei der Aufbewahrung solcher Präparate grösste Vorsicht auf: Radium darf man nur mit dicken Bleiplatten eingehüllt oder in dicken Bleischachteln aufbewahren und mit sich tragen.

Obwohl die Darstellung des reinen Radiums möglich ist, ist dasselbe als solches zu Heilzwecken bis jetzt noch nicht zur Verwendung gekommen. Das zu Bestrahlungen am meisten verwendete Präparat ist das Radiumbromid (das Chlorid eignet sich weniger, am allerwenigsten das wasserunlösliche Radiumsulfat, welches gelegentlich in Salben Verwendung finden soll); sein Wert hängt, wie eingangs auseinandergesetzt wurde, von der Kraft (Aktivität) ab, die es besitzt. Als Einheit der Aktivität, *U*, wird allgemein die Aktivität des reinen metallischen Urans gewählt. Ein Radiumpräparat besitzt also die Aktivität 10000, wie dieselbe 10000mal grösser ist als diejenige von reinem Uran u. s. w. Die Angaben für die Aktivität von chemisch reinem Radiumbromid schwanken zwischen 1—2000000, sie ist ohne Frage ausserordentlich gross. Radium geringer Aktivität, wie es z. B. zur Analgesie von Darier empfohlen wurde, ist gewöhnlich ein mehr oder weniger erhebliche Spuren von Radium enthaltendes Radium-Baryum- etc. Gemenge. Die kleinsten Quantitäten, welche zur Erzielung guter Resultate angewendet zu werden pflegen, betragen in Frankreich:

0,1	g	für die	Aktivität	10000	
0,05	„	„	„	50000	
0,025	„	„	„	100000	
0,01	„	„	„	500000	und mehr.

Nach der Höhe der Aktivität schwankt natürlich auch die Dauer der Exposition von wenigen Minuten von den hoch-aktiven bis zu einigen Tagen bei den Präparaten mit geringer Aktivität. Die Aktivität wird durch die früher besprochene Methode nach Curie gemessen. Geringe Aktivitätsgrade lassen sich schon durch die Schwärzung der photographischen Platte feststellen, das Elektroskop eignet sich für mittelstarke Aktivität und mittelst des Spektroskops prüfen wir höchst aktive Präparate und reines Radiumbromid. Eine einfache und doch genaue Wertbeurteilung ist sehr schwierig, die Radioaktivität der Präparate sehr verschieden und eine genaue Messmethode ist umständlich, braucht kostbare und komplizierte Apparate und viel Zeit!

Aus früher Vorgetragenem erinnern wir uns noch der Tatsache, dass vom Radium Emanation ausströmt und es sind die physiologischen Wirkungen derselben ähnlich denjenigen der Strahlung selbst. Bringt man Tiere in ein mit Radiumemanation gefülltes Gefäss, so stellen sich, entsprechend dem Gehalt an Emanation, früher oder später, oft schon nach einigen Stunden bei denselben Atembeschwerden ein, die zum Tod führen können. Die Sektion solcher an Emanationsgas-Vergiftungen verendeten Tiere ergab als Hauptbefund Blutkongestion nach den Lungen, keine Blutungen, daneben eine erhebliche Verminderung der Zahl der weissen Blutkörperchen. Drei Stunden nach eingetretenem Tod wurden die Gewebe noch radioaktiv befunden. Ausser mit der einem Radiumsalz direkt entströmenden Emanation wurden auch mit radioaktivierten Stoffen Versuche angestellt. 1—3 Tage lang radioaktivierte Gegenstände, auf die Haut des Armes appliziert, vermochten nach drei Wochen eine leichte Abschuppung dieser Hautstelle herbeizuführen. Noch wirksamer erwies sich (London) radioaktivierte Watte, welche nach mehrmaliger Applikation an derselben Hautstelle heftige Entzündung hervorzurufen vermochte. Diese »Emanationswatte«, als Träger der Radioaktivität, lässt sich in geschlossenem Gefäss einige Zeit aufbewahren und dem zu behandelnden Körperteil gelegentlich besser adaptieren als ein Radiumsalz. Als weitere therapeutische Produkte kämen das Emanationswasser (Aqua ϕ) und das radioaktivierte Bismut (Bismut ϕ) in Betracht. Als Aqua ϕ bezeichnet Braunstein ein Destillat von Radiumchloridlösung, das zu Einspritzungen benutzt wird. Bismut ϕ ist ein Bismutsalz, das durch Zusammenbringen mit einer Radiumbromid oder dessen Lösung enthaltenden Kapsel während 3—5 Tagen radioaktiviert wurde; es eignet sich in Pulverform zum innerlichen Gebrauch. An Hand seiner Versuche kommt derselbe zu folgenden Schlüssen. Die Radiumemanation schädigt die Gewebe nicht und führt auch nicht zu Geschwürsbildung wie die Radiumbestrahlung. Ihre Anwendbarkeit ist leicht und das zu Lösungen benutzte Radium ist wieder verwertbar, da ihm nach Verdampfung der Lösung die Fähigkeit wieder zukommt, Emanation zu liefern. Durch Einspritzung von Aqua ϕ kann eine Geschwulst ohne Schädigung des normalen Gewebes zum sterilen Zerfall gebracht werden; Bismut ϕ vermag z. B. einen Speiseröhrenkrebs zu zerstören: das Präparat bleibt auf dessen Oberfläche haften und kann daselbst sukzessive seine Wirkung entfalten. Die mit dieser Behandlung gewonnenen Resultate werden als ermutigend bezeichnet. Der Emanation kommt ferner (nach London) starke Desinfektionskraft zu. Einatmungen der Radium- und

Thoriumemanation schlägt Soddy zur Inhalationstherapie der Lungen- und Kehlkopftuberkulose vor.

Welche Leiden sind es nun, die durch Radiumbehandlung gebessert oder geheilt werden können? Eine genaue Antwort mit ausführlicher Begründung gehört vor das Forum eines medizinischen Kollegiums; ich beschränke mich also hier mehr nur auf die allgemeinen Gesichtspunkte. Eine der schwersten Krankheitsplagen ist die Krebskrankheit, das Karzinom. Das souveräne Heilmittel besitzt der Chirurg. Kommt das Leiden frühzeitig in chirurgische Behandlung, so vermag dieselbe oft auf operativem Weg die Neubildung zu entfernen und dem Patienten unter günstigen Umständen Gesundheit und Leben auf viele Jahre hinaus wiederzugeben. Viele Fälle kommen aber zu spät in Behandlung oder werden verkannt oder auf die Operation kann ein nicht mehr operierbarer Rückfall folgen, der Krebs wird inoperabel oder, was fast gleichbedeutend ist, unheilbar; die Beschwerden, die er verursacht, sind meist sehr erheblich. Da setzt nun in geeigneten Fällen die moderne Strahlenbehandlung ein und tatsächlich sind die Röntgen- und Radiumstrahlen imstande, gelegentlich gute Dienste zu leisten. Tierversuche haben, z. B. an Mäusen, folgendes ergeben (Apolant): 12—14 Tage nach der Einimpfung von Mäusekrebs wurde die Radiumbehandlung begonnen. Von 19 erbsen- bis bohnengrossen Geschwülsten wurden 11 durch Radium völlig geheilt und 8 waren bis zu einem unbedeutenden Bruchteil ihrer ursprünglichen Grösse zurückgegangen. Weitere Untersuchungen, durch das Mikroskop, ergaben (Exner), dass schon eine Woche nach der Bestrahlung, zu einer Zeit, wo weder makro- noch mikroskopisch an den Krebsknoten und -Zellen eine Veränderung zu bemerken war, als erste Wirkung der Radiumstrahlung eine Bindegewebsneubildung eintritt. Dieses neugebildete Bindegewebe, von zahlreichen Kapillaren durchzogen, dringt nun in raschem Wachstum in den Krebsknoten hinein. Zirka zwei Wochen nach der Bestrahlung treten in den Krebszellen kleine Vakuolen, Hohlräume, auf. Der vom Bindegewebe durchwachsene Knoten wird durch dasselbe in einzelne Zellgruppen zerteilt oder zersprengt; diese einzelnen Teile fallen nach und nach dem Druckschwund anheim und gehen zugrunde. Wir wissen heute durch Tierversuche und Anwendungen am Menschen sicher, dass die Radiumstrahlen, wie die Röntgenstrahlen — obgleich beide in ihrer Qualität voneinander verschieden sind — eine elektive Wirkung auf krankhaft gebildete Zellen besitzen: die physiologisch weniger widerstandsfähigen Zellen, Epithel- und Geschwulstzellen, erliegen der Strahlung sehr früh, während das Bindegewebe und die Gefässe intakt bleiben. Diese Erfahrung vermag auch die Wernersche

Intoxikationstheorie zu stützen, der zufolge, wie bereits früher erwähnt, die Radiumwirkung als eine Intoxikation mit Zerfallsprodukten des Lecithins gilt, besonders auch im Hinblick darauf, dass gerade die Epithel- und Geschwulstzellen an Lecithin besonders reich sind. (Blauel.)

Es bedarf bei der Behandlung einer erfahrungsmässig zu bestimmenden günstigen Menge (ein einfaches Massinstrument muss erst noch erfunden werden); ein Mehr zerstört neben dem kranken auch das gesunde Gewebe, ein Weniger keines von beiden. Die Wirkung der Radiumstrahlung lässt sich bis höchstens 1 cm in die Tiefe verfolgen, wenn wir die oberflächlichen Gewebeschichten nicht zu schwer schädigen wollen. Das ist mit ein Grund, warum man, bis jetzt wenigstens, operable Karzinome nicht mit Radium behandelt; seine Hauptdomäne bilden die wenig tiefgehenden, mehr flachen Hautkrebse, Kankroide, die ohne Anwendung des Messers, nur durch Radium allein, sicher und meist ohne Rückfälle geheilt werden können. Ist aber der Krebs inoperabel geworden, so liegen die Verhältnisse wesentlich anders, da ist Radium indiziert. Auch die Röntgenstrahlen zeitigen da gute Erfolge; die Radiumbehandlung kann an ihre Stelle treten und empfiehlt sich bei kleineren Geschwulstflächen überhaupt, dann an für die Röntgenstrahlen — an Stelle derselben — schwer zugänglichen Partien von Neubildungen, die nicht oberflächlich gelegen sind oder wo ihre Anwendung mit Schwierigkeiten verbunden ist. Innerliche inoperable Krebse (im Mund, Rachen, Speiseröhre, Unterleib, Darm etc. sind in grosser Zahl der Radiumbehandlung mit teilweisem Erfolg unterzogen worden; es sind relative Heilungen von mehr als Jahresdauer publiziert worden (Exner, Speiseröhrenkrebs).

Sarkome, der Krebsgeschwulst ähnliche, ebenfalls bösartige Neubildungen, können, soweit sie im allgemeinen inoperabel sind, unter Umständen mit Erfolg durch Radium behandelt werden. Günstige Berichte über Heilungserfolge liegen ferner vor über Hauttuberkulose und verschiedene andere Krankheiten der Haut; desgleichen bei der so gefürchteten sogenannten ägyptischen Augenkrankheit, dem Trachom, das bei uns glücklicherweise selten auftritt. Ein dankbares Objekt bilden verschiedene Arten des Lupus, dann gutartige Neubildungen (Muttermäler, Feuermäler, Warzen, Narbenkeloid etc.). Die Anwendung des Radiums ist einfach, schmerzlos und führt oft in wenigen Sitzungen zum Ziel.

Noch einer Radiumwirkung, die namentlich von französischen Autoren enthusiastisch empfohlen wird, müssen wir gedenken, der schmerzstillenden oder analgesierenden Wirkung. Es soll nämlich gelingen, mit ausserordentlich

kleinen, unschädlichen Radiummengen, die dem Kranken unbedenklich anvertraut werden können, bei lange dauernder Anwendung Schmerzen verschiedenster Art zu heben: Schmerzen in Geschwülsten, neuralgische und rheumatische Schmerzen, Ischias, periodische Schmerzanfälle etc. (Darier, Zimmern, De Courmelles). Man bedarf dazu nur gering aktiver Präparate, die sehr billig sind; 240—10000 Einheiten sollen genügen. Wenn auch eine analgesierende Wirkung allen radioaktiven Substanzen zugestanden wird, so ist doch andererseits vor einer Ueberschätzung derselben zu warnen (Raymond): einige der geheilten Fälle könne man der Suggestivwirkung zuschreiben! Dass es vor Seekrankheit schützen, den Biss giftiger Schlangen und tollwütiger Hunde unschädlich machen soll, wie auch beschrieben wurde, ist ernstlich zu bezweifeln.

Ausser dem Radium wurden von anderen radioaktiven Stoffen zu Heilzwecken meines Wissens bis jetzt nur Thorhydroxyd — MacLeod bei einem Fall von Lupus vulgaris — und die Dämpfe von Thornitrat — Gordon Sharp bei Lungenaffektionen — benützt, im ersteren Falle ohne, im zweiten mit Erfolg; von der therapeutischen Anwendung der Thoremanation (Soddy) war schon früher die Rede.

Aus unseren naturwissenschaftlichen Studien ist uns geläufig und all' unseren einschlägigen Untersuchungen und Berechnungen legen wir zugrunde das Fundamentalgesetz von der Konstanz der Materie, das Gesetz von der Erhaltung der Kraft, welches besagt, dass jede physikalische Wirkung (Licht, Bewegung etc.) auf Kosten eines Aequivalentverbrauches vor sich gehe, mit anderen Worten, dass niemals auf der einen Seite etwas produziert werden kann, das nicht andererseits auf dem Verbrauch von gleichviel Kraft beruhte und nach Erschöpfung der produzierenden Kraft sistiert auch ihre Wirkung. Nun treten mit einem Male in den Schatz unserer Erfahrungen die radioaktiven Stoffe, vor allem das Radium, und schienen mit diesem Grundgesetz unverträglich. Lange vor ihrer Entdeckung durch den rastlos denkenden Menschengeist produzierten sie, selbst verschwindend kleine Mengen und trotzdem durch ihre Effekte als Träger ungewöhnlich grosser Menge von Energie, Elektrizität und Masse kenntlich, Licht und Wärme, Strahlung und Phosphoreszenz, chemische und optische Effekte, Emanationsgas und Helium etc., unausgesetzt, ganz von selbst, unbegrenzt lange Zeit, scheinbar ohne Abnahme und ohne Kraftzufuhr von irgend einer Seite her! Wie ein Rätsel, ja wie ein Wunder muten uns die mit der Radioaktivität zusammenhängenden Phänomene an und es schien, als seien sie geeignet, unsere her-

kömmlichen Anschauungen von Materie und Kraft, an denen niemand zu rütteln wagte, in ihren Grundfesten zu erschüttern, umzustürzen oder doch zum mindesten einschneidend zu modifizieren!

Woher erhalten die radioaktiven Stoffe ihre Energie, die auftritt in Form der drei Strahlungen und der übrigen uns jetzt bekannten Phänomene? Was Wunder, wenn angesichts dieser überwältigenden Probleme der menschliche Geist sich spekulativen Ideen hingab: konnte er des Rätsels Lösung nicht finden, so trachtete er doch nach einem Ausweg, der ihm ein besseres Verständnis ermöglichen sollte. Zur Erklärung der Selbststrahlung wurden eine grosse Zahl von Hypothesen aufgestellt. Die Ausgangspunkte zweier Gruppen von Erklärungsversuchen bilden die Anschauungen über das Herkommen der Energie: die eine derselben sucht die Quelle der Energie ausserhalb der strahlenden Stoffe, die andere im Körper derselben. Durchgehen wir nach diesen Gesichtspunkten einzelne dieser Hypothesen, so treffen wir zuerst auf diejenige von Curie. Curie dachte sich den ganzen Weltenraum ausgefüllt von einer uns noch unbekannten dunkeln Strahlung, die wir mit unseren Sinnen nicht wahrnehmen können und die auch, ihrem Wesen nach, bis jetzt noch nicht nachgewiesen werden konnte. Diese Strahlung vermag nach der Hypothese alles zu durchdringen, nur von den radioaktiven Stoffen wird sie aufgehalten und verwandelt sich in ihnen in radioaktive Energie. Es sollten diese Substanzen, der Theorie zufolge, die Fähigkeit haben, die hypothetischen Strahlen zu absorbieren und in eine andere Energieform umzusetzen, zu transformieren in eben die uns jetzt bekannt gewordenen Erscheinungen der Radioaktivität. Aehnliche Vorgänge sehen wir im täglichen Leben vor unseren Augen sich abspielen, ohne dass wir uns dessen jedesmal speziell bewusst sind: die einer elektrischen Glühlampe zugeführte elektrische Energie wird im Kohlenfaden der Birne in eine andere Energieform, in Licht umgesetzt. Ein anderes Exempel. Fallen Lichtstrahlen auf bestimmte Substanzen, so können diese selbst leuchtend werden, sie phosphoreszieren und sind nun imstande, unter dem Einfluss des Sonnenlichtes ihrerseits wieder zum Ausgangspunkt von Strahlen zu werden. Die Transformationshypothese von Curie betrachtet also die radioaktiven Substanzen als Energie-Transformatoren einer noch unbekannten dunklen Strahlenart. Anderen Anschauungen zufolge sollte das Licht die nötige Energie liefern; das ist wohl nicht möglich, leuchten doch die Radiumpräparate jahrelang im Dunkeln!

Robert Geigel argumentierte in seiner Hypothese (Umsetzung der Erdschwere in radioaktive Strah-

lung) etwa folgendermassen. Während wir mit den gewöhnlichen Formen der Energie (Licht, Wärme, Schall, Elektrizität etc.) ganz bestimmte Vorstellungen verbinden, die wir mit der Aether-Wellenbewegung in Zusammenhang bringen können, haben wir für die Anziehungskraft der Erde, die Gravitationskraft, trotz ihres sicheren Vorhandenseins, eigentlich bis jetzt noch keine befriedigende Erklärung. War es doch bis anhin noch nicht möglich, dieselbe mit Wellenbewegungen, ähnlich anderen Energieformen, in Kausalnexus zu bringen. Aehnlich der Curieschen Hypothese will Geigel nun diese Gravitationsenergie der Erde von den selbstleuchtenden Stoffen aufnehmen, aufspeichern und sodann in eine andere Energieform überführen lassen, welche die eigentliche Radiumstrahlung darstellt.

Crookes (Umsetzung der atmosphärischen Energie in radioaktive Strahlung) nahm bei seinem Erklärungsversuch die kinetische Energie der Luftmoleküle zu Hilfe. Die umgebende Luft ist es, sagte er, welche die radioaktive Energie liefert; die selbstleuchtenden Stoffe nehmen als produzierende Kraft die in den Luftmolekülen aufgespeicherte kinetische Energie auf und wandeln sie zu ihrer Strahlung um.

Aber alle diese Erklärungen konnten den logisch denkenden Forscher, der mit mathematischen Beweisen zu arbeiten gewohnt ist, nicht so recht befriedigen und erst in allerneuester Zeit ist es, wie man glaubt, gelungen, der Erklärung der wunderbaren Phänomene einen tüchtigen Schritt näher zu treten. Es ist dies ganz besonders das Verdienst englischer Forscher (Ramsay, Rutherford und Soddy), welche, kurz zusammengefasst, die Radioaktivität durch Umsetzungen im strahlenden Körper selbst erklären. Die radioaktiven Stoffe sind aufzufassen als »Zerfallsprodukte von Elementatomen, die in der jetzigen Entwicklung unseres Erdsystems nicht mehr existieren können«, als Resultat einer »inneratomigen Umwandlung in der radioaktiven Substanz, eines Selbstbombardementes der kleinsten Stoffpartikelchen als Erreger der Energieausstrahlung«.

Die Grundgedanken des Bildungsprozesses der selbststrahlenden Stoffe sind folgende: In der Gluthitze der Urzeiten, bei der Genesis unseres Planeten und der Periode der Bildung der Grundstoffe unserer Erde ist die zum Aufbau der einzelnen Elemente verwendete Energiemenge ausserordentlich gross gewesen; ganz besonders viel Energie wurde verbraucht, um das Gefüge der schwersten Elemente, Wismut, Blei, Uran u. s. w., zu schaffen. Im Laufe der Jahrtausende und Jahrmillionen sind die äusseren Verhältnisse andere geworden. Die Entwicklung der Erde scheint im Weltenraum sich auf einem absteigenden Stadium,

einem Stadium des Zerfalls, zu befinden. Unter solchen Verhältnissen scheinen manche, namentlich die schwersten Elemente, an welche die primäre Radioaktivität gebunden erscheint, ihre beim Werdeprozess ihnen implantierte Stabilität nicht mehr zu bewahren vermögen: es beginnt ein langsamer, aber kontinuierlicher Zerfallsprozess. Die alten, schweren Elemente zerfallen oder zersplittern in ihre Uratome oder Elektronen (für einen solchen Prozess spräche auch die kontinuierliche Wärmeentwicklung in Radiumpräparaten, die als Zersetzungswärme erklärt wird). Das Radium wäre also ein in Umwandlung begriffenes Element und der dabei stattfindende Desaggregationsprozess ist mit Abgabe beträchtlicher Mengen von potentieller Energie verbunden, durch welche die Selbststrahlung entsteht. Diese losgetrennten Urbausteine, die Elektronen, sind die Quelle neuer Produkte. Es entstehen Elemente, welche im Gegensatz zu ihrem Ausgangselement grosse Stabilität und geringere potentielle Energie besitzen.

Die Elektronentheorie liefert die zurzeit wohl allgemein akzeptierte Erklärung, die sowohl theoretisch begründet ist, als auch experimentell gestützt wird. Die Ergebnisse neuerer Forschungen lehren uns, dass die Atome noch nicht als die letzten und kleinsten Teile der Materie anzusprechen sind, sondern Einheiten höherer Ordnung darstellen, ebenso, dass die Elemente nicht mehr als solche betrachtet werden können. Damit ergäbe sich die Unhaltbarkeit des Dogmas von der Unveränderlichkeit und Unzerstörbarkeit der Elemente als Grundstoff: das chemische Atom wird als teilbar und unbeständig definiert. Es vermag sich zu verwandeln; im Helium, dem »Produkt der spontanen Desaggregation des instabilen, radioaktiven Emanationsgases«, liegt ein Fall vor, wo sich ein chemisches Element spontan und konstant in ein anderes zu verwandeln vermag; aber der menschliche Geist ist nicht imstande, diese Verwandlung hervorzurufen oder zu hemmen, sie überhaupt auf irgend eine Weise zu beeinflussen.

Die Elektronenlehre ist herübergenommen von der Elektrochemie. Die Elektrochemie lässt Elektrizität als Stoff, wie die gewöhnliche Materie, in einzelne Atomteile zerfallen und diese Elektrizitätsatome belegt sie mit dem Namen Elektronen. Es sind diese Elektronen aufzufassen als die »kleinsten, mit elektrischer Energie und Masse begabten Uratome der Materie«. Die Elektronen werden identifiziert mit den Urelementen, aus denen die Materie sich aufbaut. Nach der Elektronentheorie bestehen die chemischen Atome aus einer unbestimmten, wahrscheinlich aber grossen Zahl von Elektronen, positiven und negativen;

LANE LIBRARY

die Atome der Elemente wären alsdann neutrale Elektronenkombinationen und der Elektronen Menge und Gruppierung wäre die Ursache der Verschiedenheit der Elemente, wie die Kombination der Elemente hinwiederum die Verschiedenheit der Stoffe hervorbringt. Das verschiedene Atomgewicht erklärt sich aus der grösseren oder kleineren Anzahl von Elektronen, welche zum Bau eines Atoms aufgewendet werden musste. Haben nun die radioaktiven Elemente ihre Stabilität eingebüsst, sind ihre veränderlichen Atome in einem Zerfallsprozess begriffen, so spalten sich in fortwährendem Zerfall einzelne Elektronen ab und es sind merkwürdigerweise gerade die grössten und schwersten Elemente, Uran, Radium und Tellur, welche diesem Prozess anheimfallen. Das ist nun nach der Elektronenlehre wiederum nicht zu verwundern. Denn sie lehrt uns, dass, je höher das Atomgewicht eines Elementes ist, eine je grössere Zahl von Elektronen es also besitzt, um so grösser auch die Materie und der Verbrauch von Energie bei seiner Herstellung gewesen sein müssen. Diese hochwertigen Elemente können nach der Theorie nicht mehr bestehen; langsam geben sie, indem sie selbst zerfallen, Energie und Stoff ab; die herrenlosen Elektronen verbinden sich teilweise zu neuen, uns noch unbekannten Elementen.

Als Analogon wird die Kant-Laplacesche Theorie aufgeführt, der zufolge die Himmelskörper nach Erreichung einer bestimmten Grösse kleinere Partien von sich ablösen lassen müssen.

Dieser Elektronentheorie zufolge wäre die Radiumstrahlung aufzufassen als ein Konglomerat fortgeschleuderter positiver und negativer Elektronen, von denen man sich die positiven als aus grösseren Komplexen bestehend vorstellt. Ebenfalls aus positiv geladenen Körperpartikelchen bestünde die Emanation. Dieselbe ist, als Spaltungsprodukt des Radiums, ein materielles, instabiles, einatomiges Gas vom Atomgewicht 160, das sich selbst unter Bildung von Helium (Atomgewicht 4) zerstört. Die von einem Gramm Radium pro Sekunde erzeugte Emanationsmenge ist bestimmt worden zu 3×10^{-6} cm^3.

Seit undenklichen Zeiten vielleicht gibt Radium Teile seines eigenen Stoffes ab, allerdings nur in ausserordentlich minimalen Quantitäten. Die Länge der Zeit mag aber doch diese an und für sich kleine Mengen summieren und die Frage mag dem einen oder andern einfallen: Wie ist es denn möglich, dass es überhaupt noch Radium gibt? Wieder hilft man sich mit einer Hypothese und gibt unter besonderen Umständen die Möglichkeit zu, dass sich Radium aus den Elektronen zurückbilden könne. Die berührte

Gewichtsabnahme kann auch die Elektronenhypothese nicht umgehen: Abspaltung der Elektronen aus dem Elementarverband muss notwendig mit einem Gewichtsverlust verbunden sein, dessen Grösse wir bis jetzt noch nicht experimentell bestimmen konnten, der sich aber als dem Energieverlust entsprechend berechnen lässt. Diese Berechnungen haben ergeben, dass ein Gramm Radium in Summa per Jahr 0,0007507 mg Masse aussendet, ein Quantum, das wohl für die feinsten Wagen noch zu fein ist. Trotzdem ginge aus der Rechnung hervor, dass sich die selbststrahlenden Stoffe dem Gesetze von der Konstanz der Energie unterziehen.

* * *

M. H.! Ich habe versucht, vor Ihnen in gedrängter Kürze — die dafür bestimmte Zeit war knapp bemessen — ein Thema aus dem Gebiet der modernsten Naturwissenschaften zur Sprache zu bringen; zu berichten über eine der grössten Entdeckungen, die der schaffende Menschengeist jemals zu machen gewürdigt wurde, als Preis und Belohnung zielbewusster Energie und rastlosen Strebens. Ich habe versucht, Sie einzuführen in die neuesten Anschauungen, welche das Wesen der Radioaktivität zu erklären versuchen, Ihnen ein Bild zu entrollen von dem geheimnisvoll waltenden Schaffen der Natur, welches für uns ein gut Teil seines Dunkels verloren hat. Wer erinnerte sich dabei nicht unwillkürlich des soviel zitierten Wortes, das der grosse Haller aussprach:

Ins Innere der Natur dringt kein erschaffener Geist!

Welche Resignation liegt darin! Und besonders dann, wenn wir den Mann betrachten, der den Ausspruch tat, Albrecht von Haller (geboren in Bern 1708, gestorben ebendaselbst 1777). Immer wird sein Name als einer der berühmtesten in der Geschichte der Medizin genannt werden. Seine glänzende Lehrtätigkeit, seine fast alle Fächer des damaligen Wissens umfassende Gelehrsamkeit, sein weitschweifender Blick und sein eiserner Fleiss machten ihn zugleich als Dichter, Botaniker, Mediziner, Anatom und Physiolog wie auch als Staatsmann zu einem der grössten Männer nicht nur seiner Zeit! Trotzdem war er der festen Ueberzeugung, dass die letzten Ursachen organischer Veränderungen dem menschlichen Geist verschlossen, das tiefere Eindringen in die Wunderwerke der Natur ihm verwehrt sei!

Wie unendlich viel weiter sind wir heute gekommen! Ist es doch gelungen, den über manchen geheimnisvollen Vorgängen schwebenden Schleier ein wenig zu lüften, in der Erkenntnis der Materie einen mächtigen

Schritt weiter zu kommen, ihre Urbausteine zu erkennen, zu entdecken neuartige Stoffe, mit wunderbaren Eigenschaften begabt, die uns anmuten wie ein Märchen aus tausend und eine Nacht! Hatte es nicht eine Zeitlang den Anschein, als ob diese Eigenschaften der radioaktiven Stoffe feststehende Tatsachen über den Haufen werfen wollten, umstürzen das als unumstösslich geltende Grundgesetz an der Erhaltung der Energie, an der Unveränderlichkeit und Unzerstörbarkeit der Materie, mit der in untrennbarer Weise Energie verbunden ist, Energie, die weder geteilt werden, noch auch aus nichts entstehen kann? Lehren uns nicht die Untersuchungen über die Radioaktivität, was schon lange in ahnender Forscherseele leise tönte, dass die Elemente nicht die wirklichen Grundstoffe sind und die Atome nicht die letzte Grenze ihrer Teilungsmöglichkeit darstellen: sie sind vielmehr aufzufassen als Einheiten höherer Ordnung, Kombinationen feinster Massenpartikelchen des Urstoffes.

Noch stehen wir nicht am Ende, sondern erst am Anfang einer grossartigen, beispiellosen Entwicklung, am Vorabend grosser Ereignisse! Wer kann wissen, was der morgige Tag bringt? Unaufhaltsam schreitet die Forschung weiter. Was der Bienenfleiss der Gelehrten bis anhin zusammengetragen, ist das Fundament, auf dem das stolze Gebäude der neuen Wissenschaft sich erheben wird. Rastlos strebt der Menschengeist seinem, ach! noch so fernen Ziele zu: wann wird ihm völlige Erkenntnis beschieden sein?

Druck von Franz X. Seitz, München.

A. Stuber's Verlag (C. Kabitzsch) in Würzburg.

Anatomischer Atlas

in stereoskopischen Röntgenbildern.

Von

Dr. Ernst Sommer.

I. Normale Anatomie.

1. Abt.: Knochen und Gelenke.

20 Tafeln mit Textheft in solidem Sammelkasten.

Preis Mk. 10.—.

Dieses neue Anschauungsmittel ist bestimmt, einesteils die bisher gebräuchlichen Methoden des **anatomischen Unterrichts** zu ergänzen, anderenteils ein wertvolles Hilfsmittel für die **Praxis, besonders die Chirurgie,** zu sein.

Unter Zugrundelegung der modernsten Entwickelung des Röntgenverfahrens sind hier 20 photographische Bilder von wunderbaren Tiefenblicken in die **lebenden** Organe des Menschen geschaffen. In vollendeter Plastik zeigen sie die einzelnen Partien des Knochengerüstes, wie es sich im lebenden Körper darstellt, und übertreffen in dieser Hinsicht alle andern Anschauungsmittel, selbst das Skelett, das durch die Präparation vielen Aenderungen unterworfen ist.

Schmidt's Jahrb. d. Med.:

Die Tafeln verdienen nach jeder Richtung hin Lob.

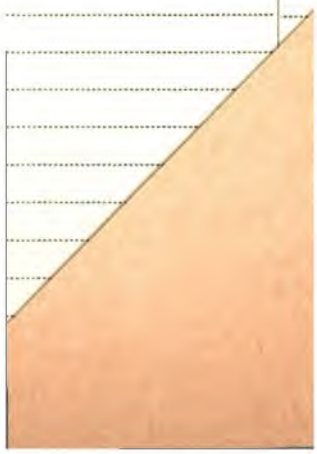
Wiener klin. Wochenschr.:

Das Studium eines derartigen Atlas ist für Chirurgen und Jünger der Radiologie unerlässlich.

Prager medizin. Wochenschrift:

Die Anlage des Atlas ist als eine sehr praktische zu bezeichnen und die Bilder selbst sind durchwegs gelungen.

Sommer, E.
Radium ...

69

NAME